SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

© GETTY IMAGES/ISTOCK PHOTO
MIT - B.FURLAN/WATERFRAME/BIOS PHOTO

Nucléaire
LA PERCÉE DÉCISIVE DE LA FUSION
p. 36

VACCINS CONTRE LE CANCER

Les tests cliniques ont commencé
p. 26

JUIN 2021 - N° 892 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / DOM-AVION 7,90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8,60 € / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

L 13418 - 892 S - F: 5,30 € - RD

Les 4 chantiers qui sauvent LA MÉDITERRANÉE
p. 46

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 892 - JUIN 2021 - VACCINS CONTRE LE CANCER

PEUGEOT SPORT ENGINEERED

NOUVELLE 508

PIONEERING PERFORMANCE AGAIN*

360 Chevaux - Hybride Rechargeable - À partir de 46g de CO_2/km(1)

***Prendre encore de l'avance.**

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL **(1) Consommation mixte WLTP (l/100 km) : 2,03 ; Emissions de CO_2 WLTP (g/km) : 46.**

(1) Les valeurs de consommation de carburant, d'émissions de CO_2 et d'autonomie indiquées sont conformes à la procédure d'essai WLTP sur la base de laquelle sont réceptionnés les véhicules neufs depuis le 1er septembre 2018. Cette procédure WLTP remplace le cycle européen de conduite (NEDC), qui était la procédure d'essai utilisée précédemment. Les conditions d'essai étant plus réalistes, la consommation de carburant et les émissions de CO_2 mesurées selon la procédure WLTP sont, dans de nombreux cas, plus élevées que celles mesurées selon la procédure NEDC. Les valeurs de consommation de carburant, d'émissions de CO_2 et d'autonomie peuvent varier en fonction des conditions réelles d'utilisation et de différents facteurs tels que : la fréquence de recharge, le style de conduite, la vitesse, les équipements spécifiques, les options, les types de pneumatiques, la température extérieure et le confort thermique à bord du véhicule. Veillez à vous rapprocher de votre point de vente pour plus de renseignements. Plus d'informations sur peugeot.fr. Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Versailles.

TW 080 XH

bouygues TELECOM

BETC Bouygues Telecom – Société anonyme au capital de 619 098 624,76 € – Siège social : 37-39, rue Boissière – 75116 PARIS – 397 480 930 RCS PARIS

Julie et son smartphone, c'est une histoire qui dure.

Ensemble, faisons durer nos smartphones plus longtemps.

Et si votre mobile vous accompagnait encore plus longtemps dans les bons moments ? Avec les Solutions Smartphone Durable, **Bouygues Telecom offre à ses clients la possibilité de faire réparer leur smartphone. Et à prix avantageux*.**

Découvrez tous nos engagements pour faire durer vos smartphones plus longtemps sur bouyguestelecom.fr/smartphone-durable

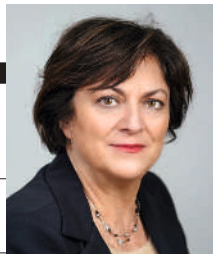
solutions smartphone durable

RÉPARÉ · REPRIS · RECONDITIONNÉ · RECYCLÉ

en boutique | bouyguestelecom.fr

* Offre soumise à conditions pour les clients Sensation ou Sensation avec Avantages Smartphone pour toute réparation d'une panne ou casse, hors garanties chez notre partenaire WeFix.

Dominique Leglu
Directrice éditoriale



BERNARD MARTINEZ

Bien commun

C'est avec allégresse que nous sortions il y a un an de deux mois de confinement. Aujourd'hui, nous renouons avec terrasses, musées et salles de sport, mais avec quelque circonspection. Beaucoup d'entre nous disons craindre une quatrième vague du Covid-19, et nous sommes instruits des risques du coronavirus et de ses variants, comme celui qui frappe aujourd'hui la Guyane. Surtout, nous n'oublions pas ceux dans la peine d'avoir perdu un être cher — près de 110 000 morts dans notre pays à ce jour. Heureusement, il y a la vaccination et nombreux sont les Français qui s'y précipitent, souhaitant immunités personnelle et collective. Sauf qu'ailleurs, tout particulièrement en Inde, la pandémie continue de flamber. Comment s'assurer d'une lutte victorieuse ?

Des milliards de doses pour toute la planète. Pour stopper (au mieux) ou ralentir (à tout le moins) la circulation du Sras-Cov-2, c'est plus d'une dizaine de milliards de doses de vaccins qu'il va falloir fournir dans les mois et années à venir à toute la planète. Un défi pour les scientifiques, une entreprise titanesque pour les laboratoires, un casse-tête géopolitique. Les cancérologues et immunologistes Ugur Sahin et Özlem Türeci, avec qui nous avons pu converser lors d'une visioconférence européenne organisée début mai par les récipiendaires des dotations de l'ERC (European research council), en sont très conscients.

Un vaccin à ARN auto-amplificateur. Le couple fondateur de BioNTech, la société allemande désormais mondialement connue pour avoir lancé avec Pfizer un vaccin révolutionnaire à ARN messager, s'efforce déjà de l'améliorer. Si la quantité injectée de cette molécule semble infime — 60 microgrammes en tout pour une vaccination avec deux doses — pour 8 milliards d'humains, cela reviendrait à devoir en accumuler 480 kg. Un Everest moléculaire. D'où la recherche d'une solution encore meilleure. Avec un vaccin qualifié d'auto-amplificateur, grâce à une enzyme au nom évocateur de réplicase, 15 nanogrammes par dose pourraient suffire. Un genre de miracle scientifique propre, on s'en doute, à susciter les convoitises. Et attiser le débat sur les questions de propriété intellectuelle.

Pour une levée des brevets. Avec la course mondiale vaccin-virus, on n'aura en effet pas manqué d'assister à la compétition effrénée entre grands laboratoires aux États-Unis (Pfizer, Johnson & Johnson, Moderna…), en Europe (AstraZeneca), en Chine (Sinopharm, Sinovac…) ou en Russie (Spoutnik V…). La proposition du président américain Joe Biden, qui en a surpris plus d'un, de lever les brevets sur les vaccins, a provoqué l'ire des premiers. Cela n'accélèrera pas la production, plaident-ils. En octobre 2020, l'Afrique du Sud et l'Inde, avaient déjà défendu, sans succès, cette cause auprès de l'Organisation mondiale du commerce, quand 25 prix Nobel, outre des dizaines d'anciens présidents ou premiers ministres et plus de 100 000 personnes réclament depuis juin 2020 que le vaccin se mue en bien commun. Rien n'est moins sûr. ■ @dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« Les promesses de l'hydrogène »
(*Sciences et Avenir-La Recherche* n° 889, mars 2021)

Je suis toujours très intéressé par vos articles, notamment celui intitulé « Comment le carburant du futur compte s'imposer ». L'hydrogène est utilisé dans une pile à combustible pour alimenter un moteur électrique et les batteries associées. Pourquoi casser la filière des moteurs thermiques alors qu'il suffirait de les adapter à un autre carburant comme cela s'est fait avec le propane ?

Jean-François Plasse

S. et A. : Le moteur à explosion (avec bielles et pistons) n'est pas adapté à l'hydrogène. Il faudrait en effet mélanger à l'air ce gaz dans les pistons, avant de déclencher une étincelle sans doute fatale pour le moteur. Quant à utiliser d'autres combustibles, leur combustion produit toujours du CO_2. Or, l'objectif est bien de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Voilà pourquoi, dans ce cadre, le moteur thermique semble bel et bien condamné.

Ibères et Basques

Dans le court article intitulé « Les Basques sont des Ibères comme les autres » (*S. et A.* n° 891, p. 20), la conclusion m'interpelle un peu, car il me semblait bien admis que le substrat génétique des Basques était nettement différencié de celui des populations environnantes.

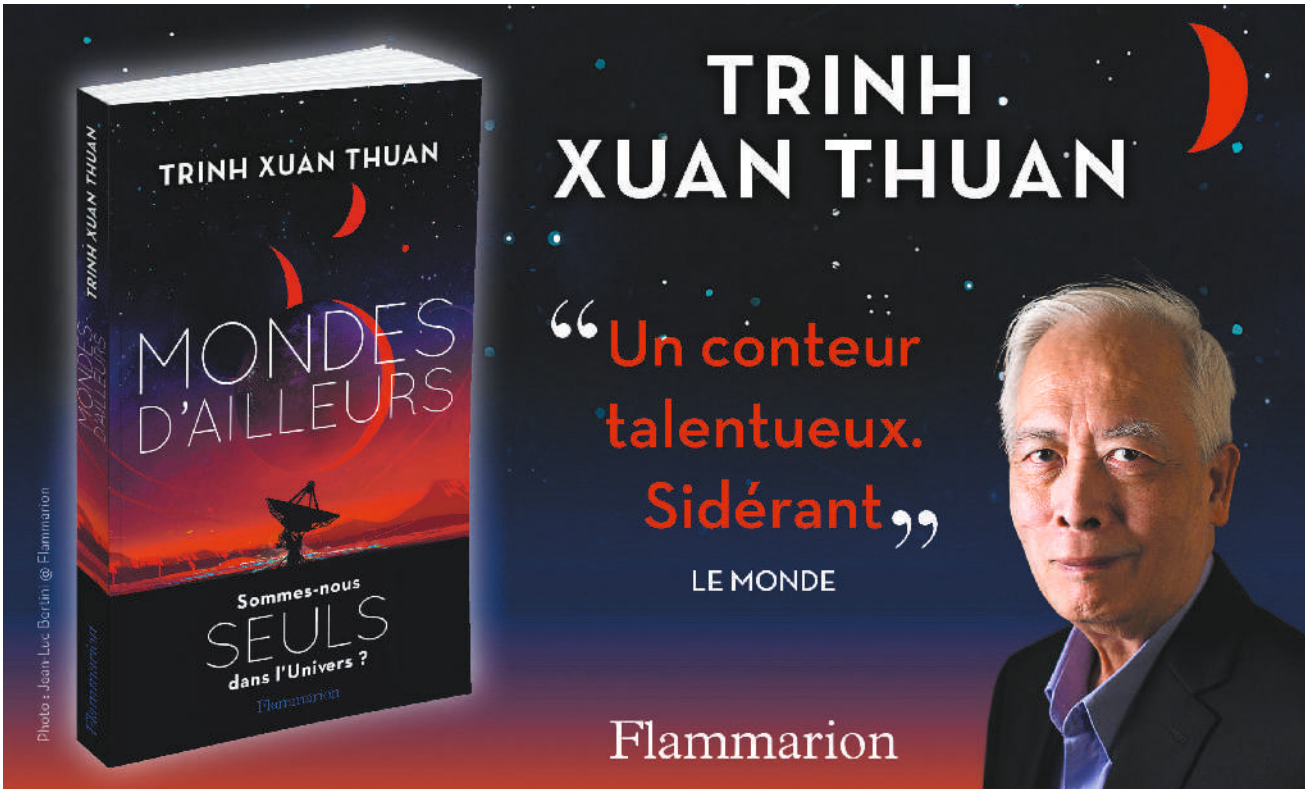
Philippe Bury

S. et A. : Cette actualité voulait rapporter que les Basques, contrairement à ce qui a longtemps été supposé, ne sont pas des populations venues d'ailleurs. Que la particularité génétique de la population basque n'est pas due à une origine externe par rapport aux autres populations ibériques, mais sans doute à une réduction des contacts, une absence de flux de gènes depuis l'âge du fer. La langue a probablement été un facteur qui a favorisé l'isolement de la région.

Précisions

ANNÉES-LUMIÈRE Dans le dossier sur les confins de l'Univers (*S. et A.* n° 891), dans l'infographie p. 27 et la légende de la photo p. 26, il faut lire les distances en milliards d'années-lumière et non en années-lumière seulement.

MONTAGNE Dans l'article sur l'Everest (*S. et A.* n° 891), dans l'encadré sur les techniques de mesure des montagnes, il faut lire les altitudes en kilomètres et non en mètres. 6384 km pour l'altitude du Chimborazo par rapport au centre de la Terre contre 6382 km pour l'Everest.



SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 €. 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice des rédactions Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de services enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN, Fabrice NICOT
Chroniqueurs A. Alvarez, Jean-Gabriel Ganascia, Céline Guivarch
Ont participé à ce numéro Pierre BERLOQUIN, Cécile COUMAU, Colombe HENRION, Pierre KALDY, Léa FOURNASSON
Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Directeur général Philippe MENAT
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 01 55 35 56 00

Origine du papier : Italie - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557
pefc-france.org

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un encart «Sophia Boutique-montre » jeté sur couverture sur toute la diffusion abonnés ; un encart « Auto Moto », un encart « l'Humanologue » ainsi qu' un message « Linvosges » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par MLP.

ÉDITO

BERNARD MARTINEZ

Carole Chatelain
Directrice de la rédaction

Espoir contre le cancer

En cette période de vaccination de masse contre le Covid-19, nous avons voulu braquer les projecteurs sur d'autres vaccins — dont certains encore à venir — qui suscitent le très grand intérêt des chercheurs et suscitent un nouvel espoir : ceux contre les cancers — au pluriel — ces redoutables pathologies qui sont responsables de 160 000 décès par an en France et de près de 10 millions dans le monde. Pour certains de ces vaccins, inutile de faire preuve d'anticipation : ils sont déjà là ! Leur but : éliminer les facteurs déclenchants de la maladie. Ainsi de ceux contre les cancers viraux, qui constituent plus d'un cas sur six dans le monde. Une simple injection contre le papillomavirus par exemple — pratiquée sur les jeunes filles à partir de 12 ans comme sur les jeunes garçons — a permis de réduire le risque de cancer de col de l'utérus de 88 % comme l'explique notre journaliste Cécile Coumau. L'Australie a même annoncé — une première ! — que cette maladie sera éradiquée de son territoire d'ici à 2028. Un objectif que la France, à la traîne dans ses campagnes de promotion, est malheureusement loin d'ambitionner bien que ce vaccin protège aussi contre d'autres cancers (anus, vagin, vulve, voies aéro-digestives supérieures...). Mais une autre révolution est en marche, qui promet des développements décisifs d'ici à quelques années. Plusieurs pistes consistent ainsi à apprendre au système immunitaire à reconnaître l'apparition d'un processus cancéreux pour l'étouffer dans l'œuf ! Et c'est précisément dans ce domaine des vaccins préventifs que des essais sont en cours sur des patients « à haut risque de développer une tumeur » comme le rapporte notre journaliste Hugo Jalinière. Sans oublier les pas de géants que pourrait entraîner la nouvelle technique de l'ARN messager, largement « boostée » par la recherche vaccinale contre le Covid-19, qui deviendrait « la voie royale » pour traiter les cancers selon le généticien Axel Khan qui annonce que la Ligue contre le cancer a lancé des appels à projets dans ce sens. Autre bonne nouvelle à découvrir, dans un contexte éminemment très différent : de grands chantiers sont en cours pour sauver la Méditerranée, ce haut lieu de la biodiversité aux 512 millions de riverains ! Parmi eux l'extension des Zones marines protégées afin de préserver au moins 30 % de sa surface et éviter ainsi l'extinction d'au moins 168 espèces côtières. Et la lutte contre la surpêche qui commence à porter ses fruits, comme le rapporte notre enquêteur Loïc Chauveau qui note que six espèces jusqu'alors menacées voient leur biomasse augmenter. Bonne lecture revigorante ! ■

> « Une simple injection contre le papillomavirus a permis de réduire de 88 % le risque de cancer du col de l'utérus »

@carolechatelain

ASSURANCE AUTO

ALLEZ DE L'AVANT

ON ASSURE VOS ARRIÈRES.

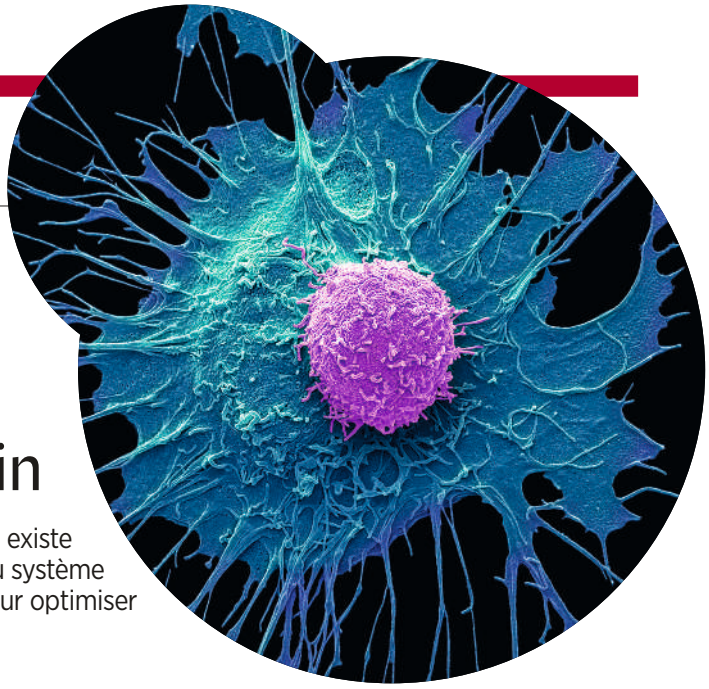
Une garantie « protection corporelle du conducteur » pouvant aller jusqu'à 1 million d'euros, sans franchise.
Et ce, même en cas de covoiturage, location ou partage de véhicule.

AGIR CHAQUE JOUR DANS VOTRE INTÉRÊT ET CELUI DE LA SOCIÉTÉ

Le contrat d'assurance Auto est assuré par PACIFICA, filiale d'assurances dommages de Crédit Agricole Assurances. PACIFICA, S.A. au capital entièrement libéré de 442 524 390 € entreprise régie par le Code des Assurances. Siège social : 8-10, boulevard de Vaugirard – 75724 Paris Cedex 15. 352 358 865 RCS Paris. N° de TVA : FR 95 352 358 865. Les événements garantis et les conditions figurent au contrat. **05/2021 –** Édité par Crédit Agricole S.A., agréé en tant qu'établissement de crédit – Siège social : 12, place des États-Unis, 92127 Montrouge Cedex – Capital social : 8 750 065 920 € – 784 608 416 RCS Nanterre. Crédit photo : Getty Images. BETC

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 892 / Juin 2021



DOSSIER P. 26

Cancer
les promesses d'un vaccin

Contre les cancers d'origine infectieuse, un vaccin efficace existe déjà. Désormais, des essais sont menés pour apprendre au système immunitaire à fabriquer des anticorps antitumoraux, ou pour optimiser l'immunothérapie grâce à des virus. Un immense espoir.

5 **Éditorial** par Dominique Leglu

6 **Courrier**

7 **Édito** par Carole Chatelain

SCIENCES FONDAMENTALES

10 **ACTUALITÉS** / La source du titane terrestre identifiée / Un petit trou noir découvert près de la Terre / Un drone pour explorer l'extrême

36 **Fusion nucléaire : l'offensive des start-up**

40 **Juno poursuit son flirt avec Jupiter**

43 **Jusqu'à 1,5 million de bulles dans un verre de bière**

44 **On a volé sur Mars !**

NATURE

14 **ACTUALITÉS** / Un caféier sauvage résiste au réchauffement / L'étrange génétique des lapins acrobates / Des chevaux creusent des puits dans les déserts

46 **Ils sauvent la Méditerranée**

51 **L'odyssée de la laitue domestique**

52 **La périlleuse migration des amphibiens**

56 **La progression des tiques en France a été cartographiée**

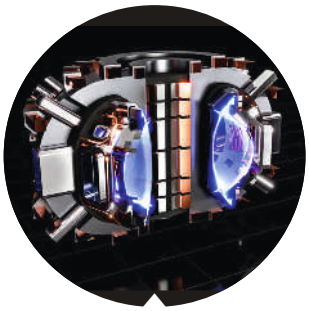
SANTÉ

18 **ACTUALITÉS** / Paludisme, l'espoir d'un vaccin efficace / Un implant rééduque la motricité / À 5 ans, le microbiote reste immature / La crise du Covid-19

58 **Diabète : une nouvelle thérapie pour une nouvelle vie**

62 **L'empathie est une plus-value pour la pratique médicale**

64 **La 5G entre risques et promesses pour la santé**



Des start-up se lancent dans la course à la fusion nucléaire **p. 36**

Les États riverains de la Méditerranée multiplient les actions pour la sauver **p. 46**

Libérer les diabétiques des injections d'insuline grâce à une greffe de cellules du pancréas **p. 58**

67 **Comment le cerveau des champions rate les penaltys**

68 **Dossier spécial : cinq questions pour comprendre les problèmes articulaires**

72 **Nutrition : La tomate, un fruit concentré**

HISTOIRE

22 **ACTUALITÉS** / Un site préhistorique révélé par la génétique / Quand les crocodiles avaient des cornes / La trace d'un « bébé » stégosaure repérée en Chine

78 **Un trésor amérindien révèle ses secrets**

82 **Le mégalodon, monstre des mers vaincu par le climat**

85 **L'IA identifie des auteurs des manuscrits de la mer Morte**

RENDEZ-VOUS

90 **La Recherche** Entretien avec Thomas Andrillon : « Le sommeil et les rêves sont une fenêtre sur la conscience »

90 **La Recherche** Autour d'un livre

92 **Sélection livres**

94 **Expositions**

95 **Le ciel de juin**

96 **Questions de lecteurs**

97 **La Recherche** Solutions des jeux

98 **La Recherche** Jeux

La Recherche RETROUVEZ NOS CHRONIQUES

45 **Maths : Aurélien Alvarez**

57 **Climat : Christophe Cassou et Céline Guivarch**

89 **Éthique : Jean-Gabriel Ganascia**

SPL/PHANIE-CFS-MIT-PSFC-LAURENT BALLESTA /PLANÈTE MÉDITERRANÉE-SCIENCE PHOTO LIBRARY/SUCRÉ SALÉ

La source du titane terrestre identifiée

Ce métal provient du cœur des étoiles, a révélé l'observation de la supernova Cassiopée A.

L'explosion de l'étoile a libéré du titane (en bleu), mais aussi du fer (orange), de l'oxygène (violet) et du magnésium (vert).

NASA/CXC

ASTROCHIMIE Une quantité phénoménale de titane, plus que la masse totale de la Terre, a été détectée dans le « rémanent » de la supernova Cassiopée A ! Situé à 11 000 années-lumière du Soleil, il s'agit du vestige d'une étoile d'au moins dix masses solaires qui a achevé sa vie en supernova et dont la lumière nous est parvenue il y a 350 ans environ. Mais ce n'est qu'entre 2000 et 2018 que l'immense nuage de matière restant de l'explosion de l'étoile a été sondé par l'observatoire spatial de rayons X Chandra pendant un total de 500 heures. Ce qui a permis de déceler, pour la première fois dans une telle structure, la présence de l'isotope stable du titane. Ce métal largement utilisé sur Terre dans l'industrie et en joaillerie provient donc bel et bien, comme la plupart des éléments lourds, du cœur des étoiles, selon l'étude américaine parue dans *Nature*. Cette détection permet aussi de mieux comprendre le mécanisme de certaines supernovæ au sein desquelles se forment des étoiles à neutrons. Outre le titane en effet, du fer, du silicium et de l'oxygène ont également été détectés. **J. I.**

NASA, J. SCHNITTMAN, B. P. POWELL

À VOIR SUR LE NET

La danse des trous noirs modélisée

ASTROPHYSIQUE Superbes images que celles de ces deux trous noirs supermassifs orbitant l'un autour de l'autre. Cette modélisation vidéo réalisée par un astrophysicien de la Nasa dévoile la façon précise dont la lumière émise par leur disque d'accrétion se trouverait déformée par les intenses forces gravitationnelles lorsque l'un passe devant l'autre. **L. F.**

sciav.fr/892Danse

243,0226 jours terrestres

La durée d'une journée sur Vénus

MÉCANIQUE CÉLESTE Difficile à calculer en raison des épais nuages qui entourent la planète, la durée d'une journée sur Vénus a été estimée à 243 jours 32 min et 32 s terrestres. C'est le calcul le plus précis jamais obtenu, car il tient compte des changements de vitesse de rotation de l'astre. **H. J.**

SOURCE : JEAN-LUC MARGOT, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À LOS ANGELES, ÉTATS-UNIS.

De l'eau piégée depuis 4,6 milliards d'années

ASTRONOMIE De microscopiques inclusions d'eau liquide riche en dioxyde de carbone ont été observées dans les morceaux d'une météorite. Elles proviendraient de la formation de l'astéroïde il y a 4,6 milliards d'années dans une partie suffisamment froide du Système solaire pour que l'eau et le dioxyde de carbone gèlent, peut-être au-delà de l'orbite de Jupiter. **H. J.**

NASA

Les morceaux de la météorite contiennent de l'eau liquide.

SOURCE : AKIRA TSUCHIYAMA, UNIVERSITÉ RITSUMEIKAN, JAPON.

Le rover chinois Zhurong s'est posé sur Mars

ESPACE La Chine devient la deuxième nation après les États-Unis à réussir un atterrissage sur Mars. L'orbiteur qu'elle avait inséré en février autour de la planète Rouge a déposé le 15 mai un atterrisseur embarquant lui-même une astromobile de 240 kg. Baptisé Zhurong (dieu du Feu dans la mythologie chinoise), le rover à six roues réalisera des études géologiques et cherchera les traces d'un pergélisol dans une vaste plaine de l'hémisphère nord. **F. D.**

Portrait des pluies dans le Système solaire

ASTROPHYSIQUE Qu'il pleuve du méthane sur Titan (satellite de Saturne), ou de l'acide sulfurique sur Vénus, les gouttes ne sont sans doute pas très différentes de celles qui tombent sur Terre, lois universelles de la physique obligent. Mais plus l'astre est massif et plus elles sont petites, montre une modélisation des gouttes extraterrestres dans le Système solaire *(ci-contre)*. De sorte que, s'il pleuvait de l'eau sur Titan, les gouttes mesureraient environ 30 mm, contre 11 mm maximum sur Terre. **F. N.**

SOURCE : K. LOFTUS ET R. WORDSWORTH, UNIVERSITÉ HARVARD. ÉTATS-UNIS.

Astre	Force gravitationnelle	Taille maximale de la goutte
Terre	Moyenne	11,18 mm
Mars	Faible	18,27 mm
Jupiter	Forte	7,07 mm
Saturne	Moyenne	10,94 mm
Titan	Faible	29,96 mm

AGU

L'œil de Lascar

ELON MUSK a l'œil sur la Lune : sa société SpaceX devrait développer le système d'alunissage de la Nasa qui vise un retour sur notre satellite en 2024. Thomas Pesquet sera-t-il de la partie ? Le Français séjourne actuellement dans la Station spatiale internationale après un voyage à bord d'une capsule… développée par SpaceX ! **O. L.**

Google Argentine racheté pour 2,38 euros

INTERNET Le 23 avril 2021, constatant que le nom de domaine google.com.ar est inaccessible, Nicolas Kuroña, un développeur Web argentin, consulte l'organisme national de gestion des noms de domaine : l'adresse officielle de Google Argentine est disponible. Sans y croire, il l'achète pour 270 pesos argentins (2,38 euros) et s'en retrouve titulaire pendant deux heures, avant d'alerter Google et de lui rendre le nom. À ce jour, l'anomalie reste inexpliquée. **A.D.**

S. DUPOURQUÉ

QUESTIONS À

Simon Dupourqué

Chercheur à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (université Toulouse-III Paul-Sabatier)

« Il faut explorer la piste des anti-étoiles »

Des chercheurs de Toulouse ont identifié des régions de l'Univers éventuellement peuplées d'étoiles faites d'antimatière.

Pourquoi chercher des anti-étoiles dans la galaxie ?
L'antimatière devrait être aussi abondante que la matière dans l'Univers, or nous ne la voyons pas. Des étoiles d'antimatière constitueraient un réservoir intéressant, même si elles ne suffiraient pas à tout expliquer. En 2018, un instrument de la Station spatiale internationale (ISS) semble avoir détecté 8 antiatomes d'hélium. Nous n'avons aucune idée de comment ils auraient pu se former, sauf à imaginer qu'ils ont été émis par une anti-étoile. L'autre explication, c'est une erreur de mesure sur l'ISS. Pour trancher, il faut d'abord explorer la piste des « anti-étoiles ».

Avez-vous vraiment pu les détecter ?
Parmi les 5700 sources de rayons gamma enregistrées par le télescope spatial américain Fermi, nous en avons repéré 14 qui pourraient provenir d'étoiles faites d'antimatière. Mais ce ne sont que des candidates. Notre estimation divise déjà par 20 celle qui avait été faite en 2014, avec les premiers relevés de Fermi. De nouvelles contraintes sur leurs caractéristiques nous permettront de resserrer davantage le nombre d'anti-étoiles possibles.

Quel est le lien entre les émissions gamma et ces astres hypothétiques ?
Des étoiles faites d'antimatière seraient forcément bombardées par de l'hydrogène et de l'hélium présents dans le milieu interstellaire. Or, particules de matière et d'antimatière s'annihilent et libèrent un rayonnement gamma bien spécifique. Notre travail a consisté à chercher cette signature précise, puis à éliminer les sources déjà identifiées, comme les pulsars ou les noyaux actifs de galaxies, et celles qui ne sont pas ponctuelles, comme des nuages de gaz.

Propos recueillis par F.N.

Un drone pour explorer l'extrême

-10 900 mètres, c'est la profondeur record atteinte par un drone bionique sous-marin.

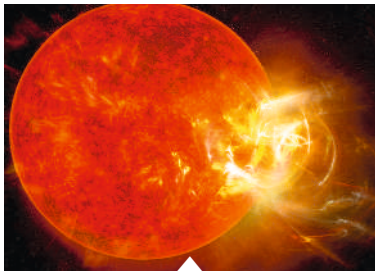
BIO-INSPIRATION Conçu par des scientifiques chinois de l'université du Zhejiang à Hangzhou, l'engin a exploré la fosse des Mariannes, le point le plus profond de la planète, à -10 900 mètres, située au large de l'île de Guam, dans l'océan Pacifique Nord. Les chercheurs se sont inspirés de l'un des organismes abrités par cette fosse, adapté aux pressions phénoménales qui y règnent : la limace de mer des Mariannes (*Pseudoliparis swirei*), un poisson qui protège son squelette et ses organes vitaux au sein d'un corps gélatineux. Le robot en reprend la forme, doté de nageoires latérales en élastomère, actionnées par deux muscles artificiels en polymère qui se contractent sous l'impulsion d'un courant électrique. À la manière des os du crâne incomplètement refermés de cette espèce des profondeurs, les composants électroniques ne sont pas groupés mais distribués dans le « ventre » en silicone du robot dont l'énergie est fournie par des batteries au lithium. Lors d'un test effectué en mer de Chine à -3200 m, il a atteint une vitesse d'environ 180 m/h. **S. R.**

TIEFENGLI/ZHEJIANG UNIVERSITY

La limace de mer des Mariannes a guidé les chercheurs pour la conception de leur robot sous-marin (vue d'artiste).

3,4 % Le taux d'erreur sur des bases de données d'IA

ALGORITHMES En examinant les bases de données les plus utilisées pour entraîner des algorithmes d'intelligence artificielle (vidéo, photo, dessin, langage naturel, texte), des chercheurs américains se sont aperçus qu'erreurs et ambiguïtés dans la description de ces données affectaient 0,54 % à 10,12 % d'un corpus. Assez pour nuire à l'efficacité finale de l'IA. **A. D.** SOURCE : CURTIS G. NORTHCUTT, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, CAMBRIDGE, ÉTATS-UNIS



S. DAGNELLO, NRAO/AUI/NSF

L'éruption de la naine rouge en mai 2019 a été 100 fois plus forte que celles qui jaillissent du Soleil (vue d'artiste).

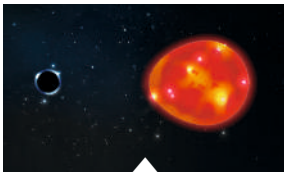
Grosse colère pour Proxima du Centaure

ASTRONOMIE Le 1er mai 2019, l'étoile la plus proche de la Terre a connu une éruption 100 fois plus violente que celles de notre Soleil. L'intensité dans l'ultraviolet de Proxima du Centaure a été subitement multipliée par 14 000 ! L'observation a confirmé que les naines rouges, étoiles majoritaires dans la galaxie, connaissent fréquemment ce genre de phénomènes. Une mauvaise nouvelle pour la vie potentielle sur les exoplanètes qui gravitent autour, comme Proxima Centauri b qui se trouve dans la zone d'habitabilité de Proxima. **F. N.**

SOURCE : MEREDITH MACGREGOR, UNIVERSITÉ DE BOULDER, COLORADO, ÉTATS-UNIS.

EN DEUX MOTS

ATTERRISSAGE. La fusée géante Starship (50 m) que la société SpaceX souhaite utiliser pour aller sur la Lune et Mars a réussi pour la première fois à se reposer au sol lors d'un vol test. **LANCEMENT.** La Chine a mis en orbite le module principal de sa future station spatiale dont l'assemblage est prévu en mai 2022. **COLLISION.** Pour la première fois, des manœuvres d'évitement ont dû être engagées par les sociétés SpaceX et OneWeb pour éviter une collision entre leurs constellations de satellites.



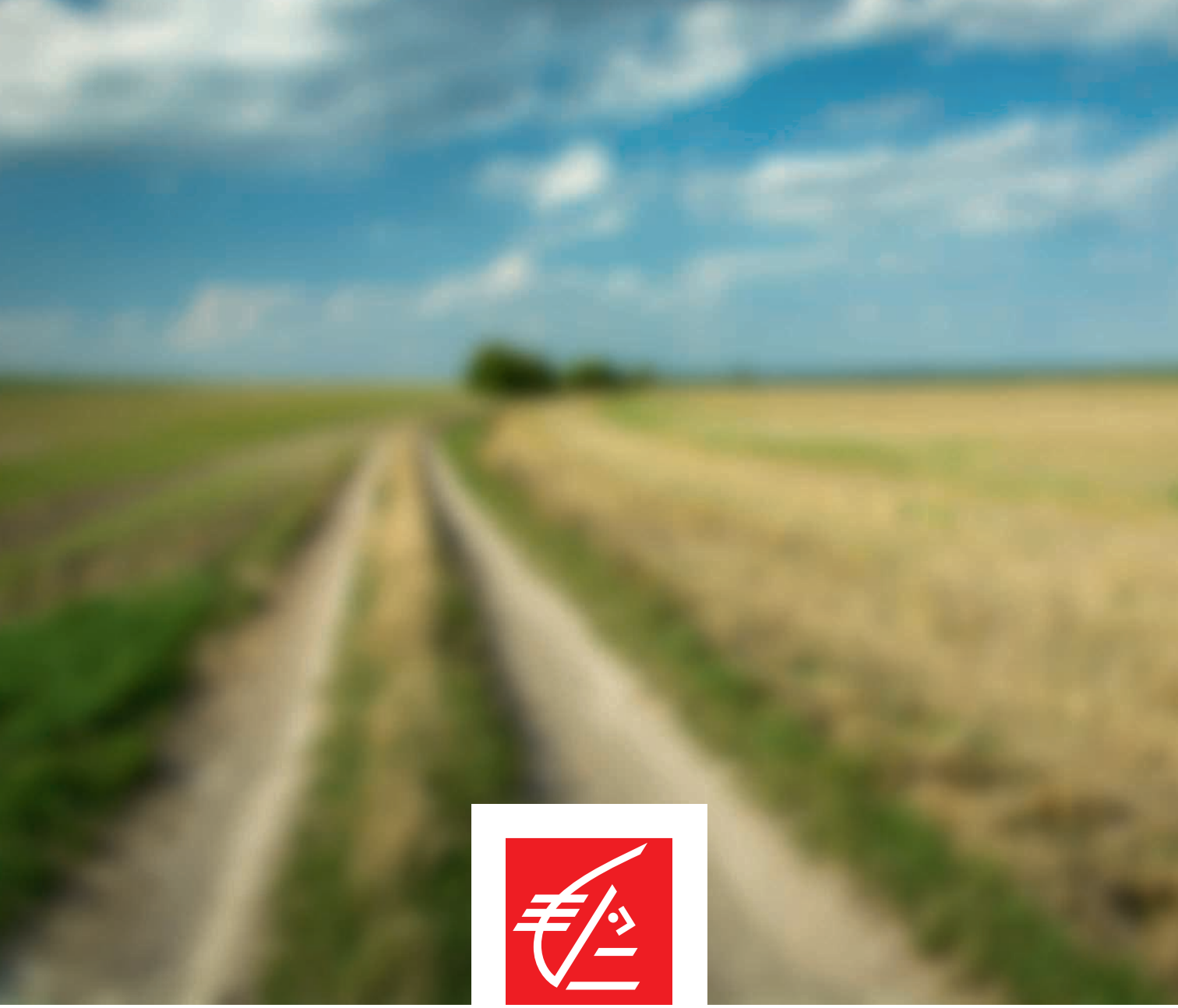
OHIO STATE ILLUSTRATION, LAUREN FANFER

De 3 masses solaires, le trou noir déforme en ballon de rugby l'étoile autour de laquelle il gravite.

Un petit trou noir découvert près de la Terre

ASTROPHYSIQUE À « seulement » 1500 années-lumière, c'est le trou noir le plus proche, et sans doute l'un des plus petits jamais détectés : trois masses solaires. Et pourtant, sa densité est telle qu'elle déforme comme un ballon de rugby l'étoile autour de laquelle il gravite. La découverte était très attendue car les trous noirs d'une masse inférieure à 5 fois celle du Soleil, censés être abondants, manquent encore largement à l'appel. **F. N.**

SOURCE : TODD THOMSON, UNIVERSITÉ DE L'OHIO, ÉTATS-UNIS.



VOUS ÊTRE **UTILE**

Quand l'avenir est flou, on a d'autant plus besoin de faire le point sur son **épargne**.

Assurance Vie

> Ajustable à tout moment à votre situation

> Disponible en cas de besoin(1)

Et si c'était le moment d'en parler avec votre conseiller Caisse d'Epargne ?

Communication à caractère publicitaire.

(1) Sous réserve, le cas échéant, de l'accord du bénéficiaire acceptant ou du créancier garanti et selon les dispositions fiscales en vigueur.

BPCE - Société anonyme à directoire et conseil de surveillance au capital de 173 613 700 euros - Siège social : 50, avenue Pierre Mendès France - 75201 Paris Cedex 13 - RCS Paris N° 493 455 042, intermédiaire d'assurance immatriculé à l'Orias sous le N° 08 045 100.
Contrats d'assurance vie distribués par votre Caisse d'Epargne - ALTMANN + PACREAU - Crédit photo : GettyImages.

CAISSE D'EPARGNE

Un caféier sauvage résiste au réchauffement

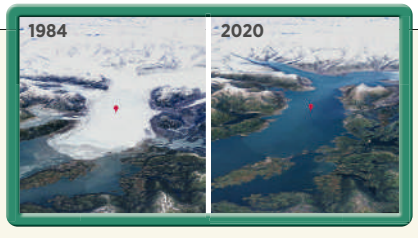
Il va être mis en culture expérimentale au Sierra Leone pour évaluer sa productivité et sa capacité à prendre le dessus sur les pathogènes.

E. COUTURON, IRD

« Coffea stenophylla » se distingue d'autres caféiers par ses petites feuilles.

AGRONOMIE Menacé d'extinction dans la nature, un caféier sauvage pourrait pourtant venir au secours de l'industrie mondiale du café, exposée au réchauffement climatique, selon une étude d'experts français et britanniques publiée dans *Nature Plants*. *Coffea stenophylla*, un caféier à feuilles étroites endémique en Afrique de l'Ouest (Guinée, Sierra Leone et Côte d'Ivoire) est adapté à des climats chauds, au contraire de *Coffea arabica*, originaire des hauts plateaux éthiopiens et cultivé à une température annuelle moyenne de 19 °C. Les graines de *Coffea stenophylla*, pleines d'arômes, offrent un café qui a été pris pour un « arabica haut de gamme » par des professionnels lors d'une dégustation à l'aveugle.

Des scientifiques du Centre de coopération internationale en recherche agronomique (Cirad) vont le mettre en culture au Sierra Leone pour évaluer son potentiel agronomique. En espérant qu'il soit aussi productif et résistant aux pathogènes que le robusta qui, avec l'arabica, représente l'essentiel des cultures. **P. K.**



GOOGLE EARTH

À VOIR SUR LE NET

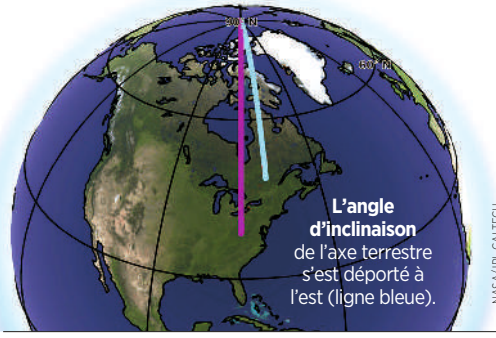
L'évolution des paysages, vue du ciel

ANTHROPISATION La célèbre application d'exploration virtuelle de la Terre, Google Earth, permet désormais de remonter 37 ans en arrière pour observer les transformations de la planète. Plus de 20 millions d'images satellite prises entre 1984 et 2000 ont été rassemblées et traitées pour obtenir un *timelapse* (vidéo accélérée) faisant assister aussi bien à la fonte des glaciers qu'au développement d'une mégalopole en Chine. **H. J.** https://earth.google.com

La Terre est désaxée par la fonte des glaces

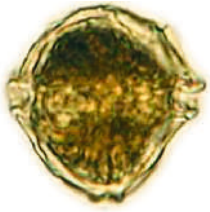
GÉOSCIENCES La redistribution des eaux à la surface du globe induite par la fonte des glaces serait l'un des principaux facteurs ayant accéléré le déplacement de l'axe d'inclinaison de la planète ces cent dernières années. Ce résultat a été obtenu en comparant le déplacement des pôles — environ 4 m chacun depuis 1980 — avec la perte totale des eaux stockées dans les terres. Le phénomène explique en grande partie le déplacement de l'axe du pôle Nord géographique vers l'est. **H. J.**

SOURCE : S. DENG, ACADÉMIE DES SCIENCES DE PÉKIN, CHINE.



L'angle d'inclinaison de l'axe terrestre s'est déporté à l'est (ligne bleue).

NASA/JPL-CALTECH



IFREMER

« Alexandrium minutum », algue toxique, prolifère dans la rade de Brest.

À Brest, le plancton garde la trace des bombes de 1944

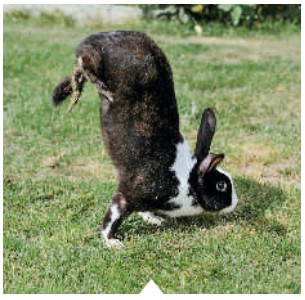
OCÉANOGRAPHIE Les bombardements de la Seconde Guerre mondiale ont changé les populations de microplancton de la rade de Brest. L'analyse de carottes de sédiments a permis à l'Ifremer de reconstituer 1400 ans d'histoire des planctons. Stables jusqu'en 1944, ces populations sont ensuite composées pour moitié par une algue toxique, *Alexandrium minutum*, proliférant en raison des métaux lourds disséminés par les bombes. **L. C.**

SOURCE : RAFFAELE SIANO, IFREMER, FRANCE

L'étrange génétique des lapins acrobates

ZOOLOGIE C'est une mutation du gène RORB qui affecte la démarche des lapins « sauteurs d'Alfort ». Pour aller « vite », ces derniers soulèvent leur train arrière et se déplacent sur leurs pattes avant. En croisant ces lapins avec une autre race, les chercheurs ont non seulement pu identifier la mutation à l'origine de ce très acrobatique handicap, mais aussi l'importance de ce gène pour la moelle épinière des lapins, qu'ils bondissent ou non. **A.-S. T.**

SOURCE : M. CARNEIRO, CENTRE DE LA BIODIVERSITÉ, PORTO, PORTUGAL.



R. CAVIGNAUX / PLOS GENETICS

Le « sauteur d'Alfort » se déplace sur les pattes avant.

Quelques pièces pour des cambrioleurs.

Tout son trésor pour votre enfant.

orange™

Maison Protégée
Télésurveillance 24/7

19 € 99 /mois(1)
pendant 6 mois puis 25,99 €/mois pour un appartement en étage

- **Installation par nos professionnels incluse**
- **Déplacement sans frais d'un agent de sécurité 24/7(2)**
- **Tarif fixe, quel que soit le nombre de détecteurs installés(3)**

telesurveillance.orange.fr

Offre soumise à conditions, réservée aux abonnés particuliers Orange/Sosh (mobile ou internet) pour les logements en France métropolitaine d'une surface jusqu'à 200 m² et dont la valeur des biens mobiliers ne dépasse pas 100 000 €. Frais de résiliation de 49 €. Conditions sur telesurveillance.orange.fr

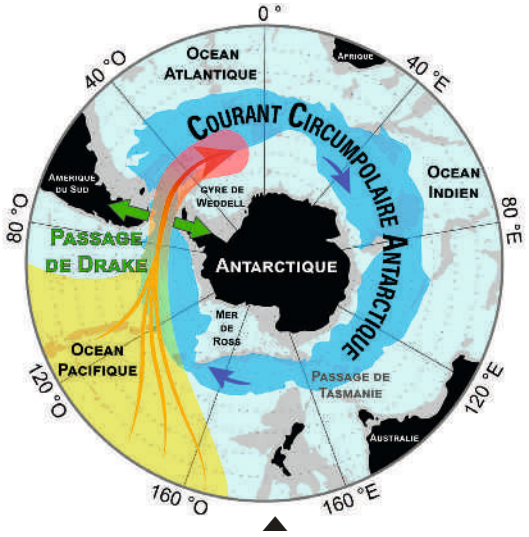
(1) Tarif pour un appartement en rez-de-chaussée ou une maison : 26,99 €/mois pendant 6 mois puis 32,99 €/mois. Promotion valable pour toute 1re souscription (même titulaire et même adresse) jusqu'au 18/08/2021. **(2)** En cas de nécessité. **(3)** Le technicien détermine le type, le nombre et l'emplacement des détecteurs suite au diagnostic personnalisé du logement, afin de sécuriser les axes stratégiques et les zones de valeur.

Maison Protégée est une offre de télésurveillance proposée par Orange Télésurveillance (SASU au capital de 33 610 000 € - Siège social : 1 avenue du Président Nelson Mandela 94110 Arcueil - RCS Créteil 824 353 973), titulaire de l'autorisation d'exercer AUT-094-2117-05-16-20180654177 délivrée par le CNAPS. L'autorisation d'exercice ne confère aucune prérogative de puissance publique à l'entreprise ou aux personnes qui en bénéficient. © Matthieu Joffres

Le courant circumpolaire antarctique est plus jeune que prévu

CLIMATOLOGIE C'est il y a 31 à 26 millions d'années que la plaque Antarctique se serait détachée de l'Amérique du Sud pour ouvrir le détroit de Drake, le grand passage océanique reliant l'océan Pacifique à l'Atlantique Sud. Cette nouvelle datation pour le courant circumpolaire Antarctique remet en question le rôle de cet événement dans la grande glaciation de l'oligocène datée, elle, d'il y a près de 34 millions d'années. Les chercheurs suggèrent de trouver une autre piste. **H. J.**

SOURCE : FLORENT HODEL, UNIVERSITÉ FRANCHE COMTÉ, FRANCE



La séparation de la plaque Antarctique de l'Amérique du Sud a donné naissance au courant ceinturant le pôle Sud.

FLORENT HODEL, MODIFIÉ D'APRÈS HODEL ET AL., 2021

Ce comportement s'observe aussi chez l'hémione, âne sauvage d'Asie, comme ici en Mongolie.

PETRA KACZENSKY

Des chevaux creusent des puits dans les déserts

Dans l'Ouest américain, ces points d'eau profitent aussi à d'autres espèces qui viennent s'y abreuver.

ÉTHOLOGIE Dans les déserts de Sonora et de Mojave (États-Unis), des équidés sauvages, ânes et chevaux, creusent des puits jusqu'à deux mètres de profondeur à la recherche d'eau. C'est sur ce curieux comportement que s'est penchée l'équipe dirigée par Erik Lundgren, biologiste à l'université de technologie de Sydney (Australie). Les chercheurs montrent que ces puits n'ont rien d'anodin dans ces écosystèmes et se révèlent profitables à bien d'autres espèces qui viennent elles aussi s'y abreuver. Leur étude publiée dans la revue *Science*, fruit de trois ans d'observations, décrit les bénéfices de ces puits pour la biodiversité. Ils ont ainsi dénombré pas moins de 57 espèces différentes venant s'y abreuver : insectes, oiseaux, lynx, coyotes et même un ours noir, peu commun à cet endroit du désert. En moyenne, la quantité d'eau disponible est multipliée par trois par rapport aux zones à points d'eau constants mais sans puits. Mais elle a pu atteindre jusqu'à 14 fois la quantité initiale sur certains territoires. Une aubaine pour ces régions arides. **L. F.**

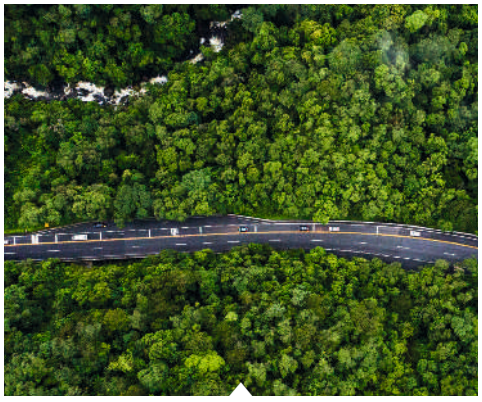
EN DEUX MOTS

INSECTIVORES. L'Europe a autorisé à la consommation humaine les premiers aliments à base d'insectes, les vers de farine. **GORILLES.** Le son que fait un gorille en se frappant la poitrine donne une information fiable et précise sur la taille de son corps, ce qui joue un rôle dans ses interactions avec les autres. **REJETS.** Le gouvernement japonais a décidé en avril d'autoriser le rejet en mer des eaux radioactives issues du refroidissement des réacteurs de la centrale de Fukushima.

25 Le nombre de changements climatiques rapides

CLIMATOLOGIE L'analyse de carottes de glaces forées au Groenland a mis en évidence 25 changements climatiques abrupts de quelques décennies à chaque fois lors de la dernière période glaciaire (de -110 000 à -10 000 ans). Avec des hausses de températures de 5 °C à 16 °C selon les épisodes, au Groenland. Intervenant en période glaciaire, il est difficile de les comparer au réchauffement actuel. **H. J.**

SOURCE : ÉMILIE CAPRON, UNIVERSITÉ DE COPENHAGUE, DANEMARK



Les végétaux exposés aux bruits artificiels s'affaiblissent.

GETTY IMAGES

Les arbres sont sensibles à la pollution sonore

DENDROLOGIE Les arbres n'aiment pas le bruit, même après qu'il a cessé. C'est ce que montre l'étude d'essences exposées durant quinze ans à un niveau élevé de bruit artificiel au Nouveau-Mexique (États-Unis). Outre l'affaiblissement général des arbres, avec une réduction de 75 % des jeunes pousses de pins à pignons, les chercheurs montrent que le déclin se poursuit même après l'arrêt de la pollution sonore. Notamment parce qu'oiseaux et pollinisateurs ne reviennent pas sur les lieux. **H. J.**

SOURCE : JENNIFER PHILLIPS, UNIVERSITÉ D'ÉTAT POLYTECHNIQUE DE CALIFORNIE, ÉTATS-UNIS.

Le soleil
UNE SOURCE INÉPUISABLE D'ÉNERGIE

Savez-vous que le soleil produit en une heure l'énergie que l'humanité consomme en un an ? Et si on équipait nos maisons de panneaux photovoltaïques ? Loin d'être inaccessible, cette solution contribue à déployer l'électricité solaire, une source propre et inépuisable, et permet de réaliser des économies.

AGENCE GOOD CAKE / ADOBE STOCK

Les Français prêts à passer au solaire

Deux Français sur trois se disent prêts à passer à l'électricité solaire [1]. Cette attente fortement partagée est motivée par le souhait de faire des économies (74%), de respecter l'environnement (42%) et être plus autonomes énergétiquement (41%). Rien d'étonnant car l'autoconsommation a aujourd'hui le vent en poupe et répond à la volonté de plus en plus de foyers d'éviter le gaspillage et de consommer au plus juste.

Comment produire et consommer sa propre électricité ?

Les panneaux photovoltaïques sont installés sur le toit de la maison. Ils transforment directement l'énergie solaire en électricité qui sera utilisée pour les besoins en chauffage, éclairage, appareils électriques… Le surplus généré par l'installation solaire qui n'est pas autoconsommé est directement réinjecté sur le réseau et vendu à un prix fixé par l'état [2]. Rien ne se perd, tout se valorise !

ENGIE innove avec le projet Google Sunroof pour estimer le potentiel solaire de votre maison

Grâce au partenariat entre ENGIE et Google, vous pouvez connaître le potentiel de production annuelle d'électricité de votre toit en fonction de son orientation et de sa situation géographique. Estimez les économies réalisables avec l'utilisation de l'électricité solaire directement sur le site mypower.engie.fr !

J'agis avec ENGIE

ENGIE VOUS ACCOMPAGNE DANS L'INSTALLATION DE PANNEAUX SOLAIRES POUR VOTRE MAISON

Les offres My Power d'ENGIE sont une gamme de solutions sur-mesure, qui vous permettent d'installer chez vous un système photovoltaïque de production d'électricité adapté à vos besoins. ENGIE vous accompagne du début à la fin de votre projet : conseil, devis, démarches administratives préalables auprès des mairies, demande de raccordement au gestionnaire de réseau et installation. Passez au solaire et économisez jusqu'à 750 euros par an [3] !

Pour en savoir plus sur My Power, rendez-vous sur : mypower.engie.fr

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

ENGIE

[1] Sondage Engie MyPower. Méthodologie : enquête réalisée par Toluna, sur un échantillon représentatif de 1014 répondants en France, propriétaires de maison - Avril 2018.

[2] Capacité utile de 9kWh. Informations indicatives et non contractuelles.

[3] Le calcul des économies est réalisé à partir de données de production issues du site PVGis (prenant en compte l'inclinaison et l'orientation du toit), de données de consommation estimées grâce à la date de construction du logement et le nombre d'occupants (références obtenues avec le rapport RAGE 2014, ADEME) et d'un taux d'autoconsommation fixé à 90%. Le montant en euros est calculé en multipliant les kWh autoconsommés (production solaire multipliée par le taux d'autoconsommation) avec un prix du kWh fixé à 0,1916€ pour les 10 prochaines années. Ce prix est défini sur base du tarif réglementé Heures Pleines 9kVA applicable au 1er août 2019 sur lequel est appliquée une augmentation de 2,5% par an sur les 10 prochaines années. Informations données à titre indicatif, qui ne tiennent pas compte des habitudes de consommation, du contrat d'énergie souscrit et de l'éventuelle revente sur le réseau. Exemple pour 750€ d'économies / an : maison située à Nice (06), orientée plein sud, inclinaison du toit 35° par rapport à l'horizontal, logement construit avant 1948, surface de 100 m², chauffage et eau chaude sanitaire fonctionnant à l'électricité, composé de 4 personnes et puissance installée de 3.0kWc.

Paludisme, l'espoir d'un vaccin efficace

Un nouveau vaccin assurerait une protection de 77 % contre cette infection transmise par les moustiques.

NYANIQUAR MYNE/PANOS-REA

450 enfants ont participé à l'essai de phase 2, mené au Burkina Faso.

SANTÉ PUBLIQUE Pour la première fois un candidat-vaccin contre le paludisme, une parasitose responsable d'environ 400 000 morts par an, vient de dépasser l'objectif d'efficacité de 75 % fixé par l'Organisation mondiale de la santé. Au Burkina Faso, l'essai clinique de phase 2 mené auprès de 450 enfants atteste une protection de 77 % selon les résultats publiés par *The Lancet*.

Beaucoup d'espoirs reposent désormais sur le candidat vaccin R21/Matrix-M, développé par l'université d'Oxford au Jenner Institute (Royaume-Uni) avec le laboratoire américain Novavax. Il surpasse de loin le Mosquirix (GlaxoSmith-Kline), qui ne prévient que 39 % des cas de paludisme et 29 % des formes sévères chez les jeunes enfants en Afrique. Le Pr Halidou Tinto, directeur de l'unité de recherche clinique de Nanoro (Institut de recherche en sciences de la santé) et investigateur principal de l'essai, a déjà annoncé le lancement d'un essai de phase 3 pour lequel 4800 enfants, âgés de 5 à 36 mois seront recrutés dans quatre pays africains. **S. R.-M.**

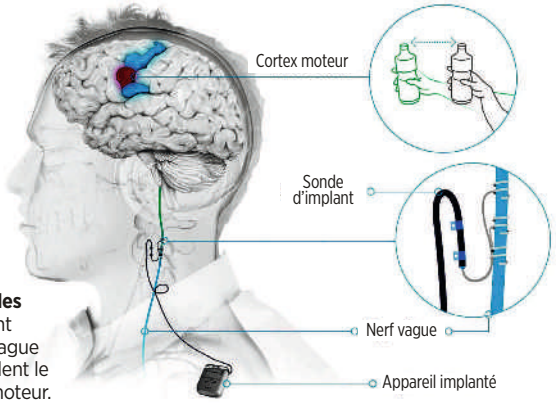
Un exosquelette permet de marcher plus vite

BIOMÉCANIQUE Fixé autour du tibia et relié à une surchaussure, cet exosquelette a augmenté de plus de 40 % la vitesse de marche lors de tests menés sur des participants en bonne santé. Une performance qui repose sur l'algorithme mis au point pas des ingénieurs en biomécanique, qui soulève au moment opportun le talon du porteur pour l'aider à pousser le sol de l'avant du pied. **H. J.**

SOURCE : STEVEN COLLINS, UNIVERSITÉ STANFORD, ÉTAT-UNIS.

STANFORD BIOMECHATRONICS LAB

Le dispositif soulève le talon pour aider la marche.



COURTESY OF MICROTRANSPONDER INC.

De fines électrodes entourent le nerf vague et stimulent le cortex moteur.

Un implant rééduque la motricité

NEUROLOGIE La stimulation du nerf vague a amélioré la récupération des fonctions motrices du bras chez 53 patients après un accident vasculaire cérébral (AVC) lors d'un vaste essai clinique. En tout, 108 personnes ont reçu les mêmes soins, à l'exception des impulsions électriques délivrées par le dispositif sur ce grand nerf vague, qui relie la partie supérieure du corps au tronc cérébral. **H. J.**

SOURCE : JESSE DAWSON, UNIVERSITÉ DE GLASGOW, ROYAUME-UNI.

Un test sanguin prédit la date de l'accouchement

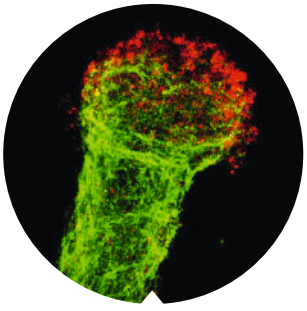
OBSTÉTRIQUE Pour prévoir avec précision à quelle date une femme accouchera, des chercheurs ont mis au point un test sanguin prenant en compte les variations physiologiques et biologiques de la future mère. L'analyse cellule par cellule met en évidence des changements moléculaires fins qui s'engagent lors du prétravail. Le test pourrait être pertinent dès le deuxième trimestre de grossesse. **C. L.**

SOURCE : INA STELZER, UNIVERSITÉ STANFORD, ÉTATS-UNIS.

Élaguer les axones pour remodeler le cerveau

NEUROSCIENCES Des chercheurs ont observé chez la mouche drosophile un mécanisme utilisé par le cerveau pour se remodeler tout au long de la vie. Des cellules gliales spécialisées dans l'entretien et le nettoyage des neurones élaguent les axones qui relient les cellules nerveuses entre elles. Elles permettent ainsi la mise en place de connexions indispensables à la mémorisation d'informations. **H. J.**

SOURCE : ANA BOULANGER, UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER, FRANCE.



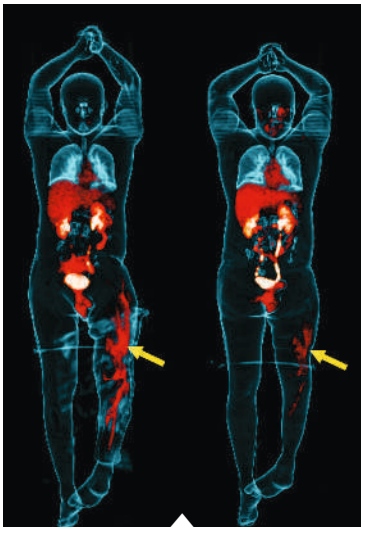
ANA BOULANGER & JEAN-MAURICE DURA

Des cellules gliales « nettoyeuses » (en rouge) élaguent un axone (en vert).

Un PET-scan voit les bactéries

IMAGERIE MÉDICALE Pour la première fois, des médecins ont pu visualiser des infections bactériennes dans l'organisme grâce à une technique d'imagerie. Ils ont utilisé pour cela un produit de contraste assimilable par beaucoup de bactéries, le sorbitol, pour faire apparaître les pathogènes au PET-scan, une technique utilisée pour étudier l'activité d'un organe. La stratégie a déjà permis de suivre l'efficacité de traitements antibiotiques chez des patients et pourrait servir au diagnostic de ces infections. **P. K.**

SOURCE : ALVARO ORDONEZ, UNIVERSITÉ JOHNS-HOPKINS, ÉTATS-UNIS.



ORDONEZ ET AL. SCIENCE TRANSLATIONAL MEDICINE (2021)

Infection de la jambe (en rouge) vue avant (à gauche) et après traitement (à droite).

La thérapie génique de l'œil est durable

OPHTALMOLOGIE La première thérapie génique autorisée en 2017 aux États-Unis pour traiter l'amaurose de Leber, une maladie génétique de la rétine, donne des résultats positifs durables. Quatre ans après, les patients bénéficiaires, une vingtaine, peuvent se déplacer dans la pénombre alors qu'ils seraient devenus aveugles sans le traitement. **P. K.**

SOURCE : ALBERT MAGUIRE, UNIVERSITÉ DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS.

À 5 ans, le microbiote reste immature

PÉDIATRIE Le microbiote intestinal des enfants de 5 ans diffère de celui des adultes, sur des genres bactériens associés à des maladies cardio-vasculaires, métaboliques ou intestinales. Ce résultat du suivi de 471 nourrissons suédois souligne l'importance d'une alimentation équilibrée durable chez l'enfant. **C. G.**

SOURCE : JOSEFINE ROSWAL, UNIVERSITÉ DE GÖTEBORG, SUÈDE.

Pas de mutations chez les enfants d'irradiés

GÉNÉTIQUE Le génome de 130 enfants nés de personnes irradiées lors de la catastrophe de Tchernobyl en 1986 est exempt des mutations génétiques de leurs parents. Cette étude confirme celle sur des enfants de survivants de Hiroshima battant en brèche l'idée d'effets transgénérationnels des radiations. **P. K.**

SOURCE : MEREDITH YEAGER, INSTITUT NATIONALE DU CANCER, ÉTATS-UNIS.

GLEB GARANICH / REUTERS

Surveillance de la thyroïde chez un enfant, en Ukraine, en 2011.

www.lesproduitsdumois.com

Vertiges, pertes d'équilibre, instabilité ?

coup cœur

Vos troubles de l'équilibre impactent votre qualité de vie ? Vos troubles de l'équilibre sont dus à des altérations de la micro-circulation et au stress. Grâce à sa composition Unique et Naturelle, **AUDISTIM® ÉQUILIBRE VA VOUS SOULAGER !** L'écorce de pin maritime (EPM 150®) et le Gingembre améliorent la microcirculation, favorisent l'oxygénation cérébrale et contribuent à une bonne santé vasculaire. La Passiflore, l'Aubépine, le magnésium et le zinc diminuent le stress. Cure de 3 mois minimum. ■ En pharmacie www.audistimpharma.com /// AUDISTIMPHARMA à votre écoute : 05 56 69 13 84

Vos acouphènes altèrent votre qualité de vie ?

AUDISTIM JOUR/NUIT VA VOUS SOULAGER !

Comprimés pelliculés sécables, Facilité de prise, Colorants naturels, Sans gélatine animale, Sans dioxyde de titane. Sifflements, bourdonnements, sommeil difficile, fatigue, stress, **AUDISTIM JOUR/NUIT nouvelle formule** va agir sur l'ensemble de ces symptômes (TRYPTOCETINE®), son efficacité est scientifiquement prouvée, 7 patients sur 10 déclarent connaître une baisse de la gêne liée à leurs acouphènes. Cures de 3 mois minimum.

■ En pharmacie, sur www.audistimpharma.com et à votre écoute au 05 56 69 13 84

INNOVATION ANTI-ÂGE

Le laboratoire français **PhytoResearch** a mis au point une **formule naturelle** basée sur les résultats des dernières avancées scientifiques sur l'astragaloside IV, une substance issue de l'Astragale capable de **ralentir le vieillissement cellulaire**.

Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragale à du resvératrol, un **puissant antioxydant**, ainsi que des **vitamines A, C et E**.

Formule anti-âge inédite, deux gélules végétales par jour suffisent pour constater une **diminution significative des rides**, une **amélioration des fonctions cognitives** (mémoire, concentration) et un **regain d'énergie**.

■ En pharmacie boîte de 60 gélules végétales - ACL 6024256
Convient aux végétaliens.
Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local) - telomerys.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Un antiviral donne de bons résultats

TRAITEMENT Des essais cliniques de phase II ont montré que le Molnupiravir du laboratoire américain Merck empêche la réplication du coronavirus dans l'organisme. Développé d'abord contre la grippe, il s'agit d'un antiviral dit à large spectre, car il est efficace sur différents virus. Un essai de phase III chez l'humain va débuter pour ce médicament qui s'administre sous forme de comprimés durant 5 jours. Résultats à l'automne. **C. L.**

Après les tests PCR et antigéniques, les « apitests »

DÉPISTAGE Des abeilles qui tirent la langue lorsqu'elles sentent le Sras-CoV-2 : voilà l'étonnant principe du test BeeSense mis au point avec l'aide des universités Paul-Sabatier de Toulouse et de Wageningue (Pays-Bas). Il ne faudrait que quelques minutes pour entraîner les insectes à ce réflexe pavlovien en leur offrant une récompense sucrée, selon la start-up en charge du développement. **M. N.**

INSECTSENSE

Les abeilles sont entraînées à identifier l'odeur du Sras-CoV-2.

JEAN-PHILIPPE KSIAZEK/AFP

Campagne de vaccination au palais des sports de Gerland, à Lyon.

Le vaccin protège aussi les autres

Une étude montre qu'une seule dose d'un vaccin permet de réduire de 38 à 49 % les risques de contamination au sein d'un foyer.

ÉPIDÉMIOLOGIE Si l'efficacité des vaccins contre le Sras-CoV-2 pour éviter d'être atteint d'une forme grave de la maladie est désormais largement établie, leur potentiel pour rompre les chaînes de transmissions fait encore débat. Même vaccinée, une personne peut dans de rares cas être infectée et transmettre le virus.

Heureusement, les études en faveur d'une réduction importante de la transmission s'accumulent. La dernière en date, menée au Royaume-Uni sur pas moins de 57 000 personnes, montre qu'une seule dose des vaccins Pfizer-BioNTech ou AstraZeneca permet de réduire de 38 % à 49 % les risques de contamination au sein d'un foyer.

L'explication la plus probable est que, lorsqu'elles sont infectées, les personnes vaccinées présentent une charge virale inférieure dans la zone nasopharyngée. Une étude israélienne publiée dans *Nature* a en effet évalué cette diminution à un facteur compris entre 3 et 4,5. En abritant moins de virus, le malade en transmet automatiquement moins aussi. **C. L. et M. N.**

6,9 millions de morts*

BILAN Un institut américain de santé publique dépendant de l'université de Washington (États-Unis) a plus que doublé le chiffre de la mortalité due au Covid-19 dans le monde, estimé à 3,24 millions jusqu'ici. Il s'appuie sur la surmortalité hebdomadaire dans chaque pays plutôt que sur le nombre de morts déclarés. **M. N.**

* AU 3 MAI.

La transmission se fait surtout par aérosols

CONTAMINATION Trois études confirment que les aérosols constituent le principal mode de transmission du Sras-CoV-2. Des aérosols qui se forment sans toux : ainsi, les personnes asymptomatiques et présymptomatiques sont responsables d'au moins un tiers, voire jusqu'à 59 % des contaminations selon les calculs. **C. L.**

SCIENCE PHOTO LIBRARY

Les aérosols peuvent se former sans toux, en l'absence de symptômes.

IL A DIT

« À partir du moment où les gens auront reçu deux doses de vaccin, le port du masque à l'extérieur deviendra de moins en moins nécessaire. À un moment ou un autre, il devrait être mis au placard »

Arnaud Fontanet, directeur de l'unité d'épidémiologie des maladies émergentes à l'Institut Pasteur et membre du Conseil scientifique

CHIESI

Concilier croissance, responsabilité et santé !

Incarné par la famille Chiesi, d'origine italienne, le laboratoire Chiesi a pour mission de prendre soin des patients et de la planète aujourd'hui pour demain. En avril, Chiesi France est devenu « société à mission », premier parmi les laboratoires pharmaceutiques. Interview de Patrice Carayon, Président.

Quelle est votre originalité ?
En France depuis plus de 20 ans, nous sommes l'unique laboratoire familial étranger présent sur toute la chaîne de valeur ajoutée : recherche et développement, production et distribution, mise à disposition auprès des professionnels de santé et des patients.

Chiesi investit chaque année plus de 20 % de son chiffre d'affaires dans la R&D de médicaments innovants. Ses objectifs sont de garantir l'accès aux soins et à des produits de santé de qualité et d'améliorer la vie des patients souffrant de maladies chroniques, invalidantes, graves ou rares dans trois aires thérapeutiques : maladies respiratoires dont la néonatologie ; maladies rares ; médecine de spécialité comme la transplantation. Ses recherches couvrent aussi la biotechnologie, la thérapie génique et la prévention.

Ceci au bénéfice des patients.
Oui, nous travaillons pour et avec les patients. Ainsi, Chiesi a soutenu le livre blanc sur la Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO) puis accompagné la campagne *« BPCO : les régions en action ! »*. La BPCO fait désormais partie du plan *Ma Santé 2022*.

Qu'est-ce que devenir « société à mission » ?
Après avoir obtenu en 2019 la certification B Corp au niveau global, c'est pour Chiesi France une nouvelle démarche volontaire, permise par la loi PACTE, qui nous permet d'allier croissance et contribution sociétale. Inscrire notre mission dans nos statuts implique la responsabilité juridique de l'entreprise. De la mission émanent des obligations de résultats, et des opportunités permettant de guider nos activités. Tout ceci suivi par un comité de mission composé de parties prenantes externes. Convaincus de la nécessité de coopérer, nous aspirons à créer une dynamique dans l'écosystème de la santé.

Quels sont les engagements inscrits dans vos statuts désormais ?
Ils s'articulent autour de trois axes : innover avec nos parties prenantes pour apporter des solutions en santé, prenant en compte les besoins des patients, des aidants et des professionnels de santé ; agir ensemble pour le développement et le bien-être de tous les collaborateurs ainsi que pour la diversité et l'inclusion ; contribuer à la protection de l'environnement et de la société à travers nos actions responsables dans toutes nos activités.

Une action pour l'environnement ?
350 millions d'euros investis dans la conception et la fabrication d'aérosols-doseurs médicamenteux à empreinte carbone minimum, tout en maintenant les systèmes d'inhalation poudre afin de préserver les différents systèmes pour les patients atteints de maladies respiratoires, tout en incluant les enjeux environnementaux.

Ils seront fabriqués sur notre site industriel de la Chaussée Saint-Victor, près de Blois, où 80 % de la production est aujourd'hui exportée. En cela, Chiesi contribue à l'autonomie stratégique et à la résilience du système de soins en France et en Europe. Quelques autres actions y sont aussi menées : zéro émission et rejet dans l'air et l'eau ; 100 % des déchets retraités, 96 % recyclés ; de nombreuses certifications ; des panneaux solaires avec l'objectif de parvenir à l'autonomie du site. Ce projet prévoit la création de 50 emplois directs et un plan de formation professionnelle de 2 millions d'euros. ■

JAVIER TRUEBA / MADRID SCIENTIFIC FILMS - MAX PLANCK INSTITUTE

Le matériel génétique analysé (en haut) provient des déjections de néandertaliens qui vivaient il y a 100 000 ans.

Un site préhistorique révélé par la génétique

De l'ADN riche en informations génétiques a été extrait des sédiments d'une grotte espagnole alors qu'aucuns ossements humains n'ont été retrouvés.

PALÉOGÉNÉTIQUE Aucune trace de passage humain n'était visible dans la caverne d'Estatuas, dans le nord de l'Espagne, ni outils ni restes osseux. Et pourtant, des néandertaliens y ont bien séjourné il y a au moins 100 000 ans. C'est ce que démontrent des chercheurs de l'Institut Max Planck d'anthropologie évolutive de Leipzig (Allemagne) qui, pour la première fois, ont pu extraire de l'ADN des sédiments d'une grotte occupée au paléolithique. Alors que l'on sait depuis 2013 détecter dans des sédiments de l'ADN mitochondrial, transmissible uniquement par la mère, il s'agit ici d'ADN nucléaire qui devrait livrer bien plus d'informations génétiques. De l'ADN laissé dans le sol par le sang et les excrétions (urine, matières fécales, etc.) des hommes et femmes ayant fréquenté les lieux. Les analyses conduites par les paléogénéticiens révèlent que deux groupes de néandertaliens se sont succédé dans la cavité, le premier ayant été remplacé par un second plus récent, il y a environ 100 000 ans. **B. A.**

La plus ancienne sépulture d'Afrique

PRÉHISTOIRE Dans les profondeurs de la grotte de Panga ya Saidi, au Kenya, des chercheurs ont exhumé le corps d'un enfant de 3 ans déposé avec soin il y a 78 000 ans dans une tombe. Baptisé « Mtoto » (« enfant » en swahili) par les scientifiques, il a été retrouvé couché sur le côté droit, les genoux tirés vers la poitrine, indiquant qu'une certaine forme de rite funéraire avait été pratiquée. Ce serait le plus ancien enterrement délibéré connu d'un humain moderne en Afrique. **B. A.**

SOURCE : MARIA MARTINON-TORRES, UNIVERSITY COLLEGE DE LONDRES, ROYAUME-UNI.

AFP

Le corps de cet enfant a été disposé avec soin dans une grotte, il y a 78 000 ans.

Le premier recensement des tyrannosaures

PALÉONTOLOGIE Au cours des quelque 2,5 millions d'années d'existence des *Tyrannosaurus rex* (*T. rex*), 2,5 milliards d'individus en tout auraient foulé le sol de la Terre, selon une estimation reposant sur le rapport entre la masse corporelle de ce dinosaure et la densité d'animaux vivants aujourd'hui. Les chercheurs calculent que la population moyenne permanente avoisinait 20 000 individus, répartis dans toute l'actuelle Amérique du Nord. **J. I.**

SOURCE : CHARLES R. MARSHALL, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À BERKELEY, ÉTATS-UNIS.

Quand les crocodiles avaient des cornes

M. ELLISON/AMNH

Le crâne de « Voay robustus » présente deux protubérances à l'arrière.

PALÉONTOLOGIE *Voay robustus* peut enfin être situé sur l'arbre évolutif grâce à de l'ADN extrait de deux crânes fossilisés. Ce gros reptile caractérisé par la présence de deux cornes sur la partie postérieure du crâne a disparu avec le reste de la mégafaune de Madagascar. Les analyses indiquent qu'il appartient à une lignée sœur des *Crocodylus*, qui comprend les crocodiles du Nil, d'Asie et d'Amérique. Les deux auraient divergé il y a environ 25 millions d'années. **J. I.**

SOURCE : EVON HEKKALA, FORDHAM UNIVERSITY, ÉTATS-UNIS.

87 Le nombre d'empreintes de Neandertal découvertes

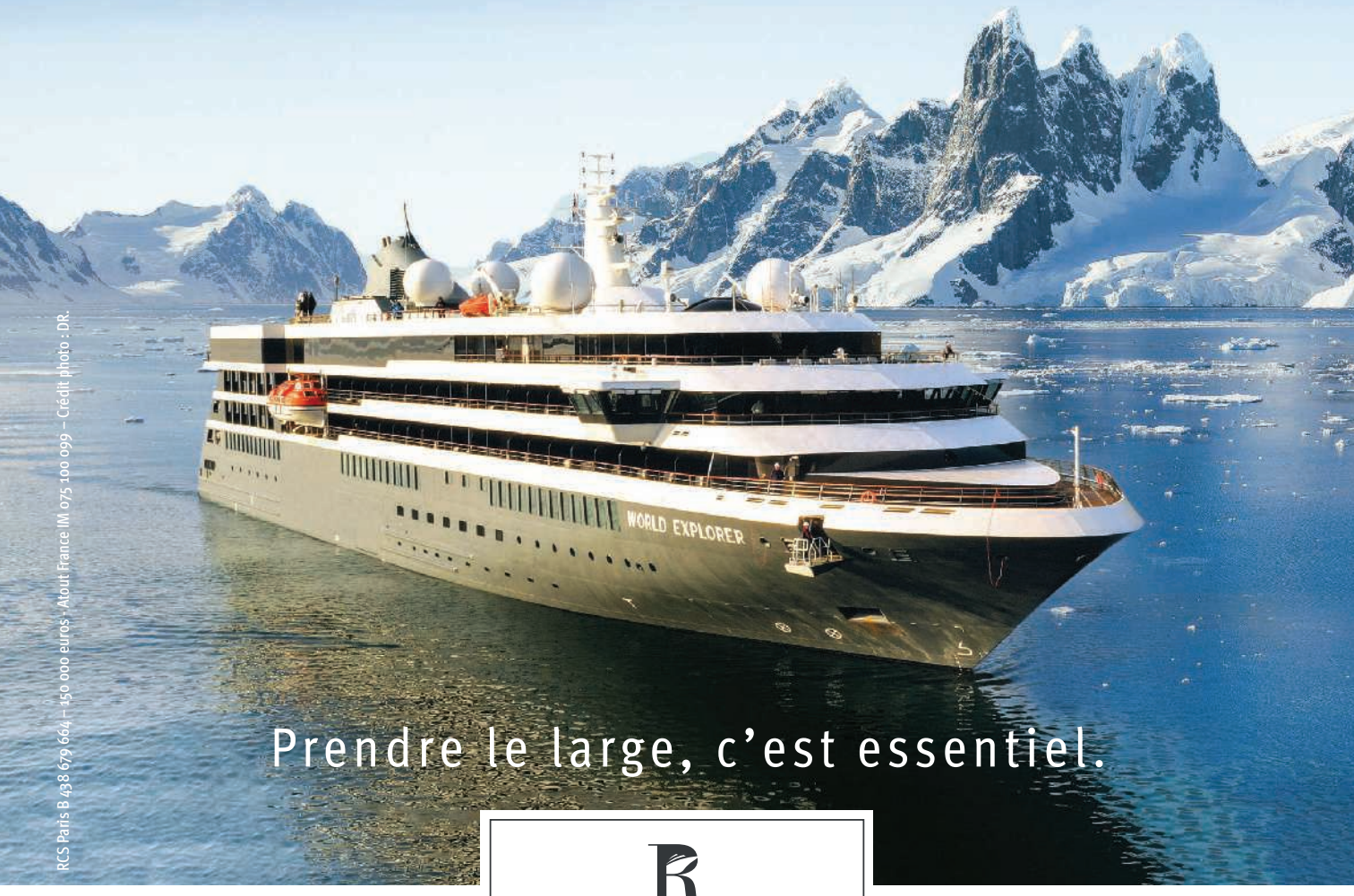
PALÉOANTHROPOLOGIE Des traces de pas fossilisées laissées par des néandertaliens il y a 106 000 ans ont été retrouvées sur le littoral de Matalascañas, en Andalousie (Espagne). L'étude a permis d'identifier les empreintes de 36 personnes, dont 11 enfants et 25 adultes, pour un total de 87 pas. **B. A.**

SOURCE : EDOUARDO MAYORAL, UNIVERSITÉ DE HUELVA, ESPAGNE.

Croisières

EXPÉDITIONS

Villages inuits du Groenland • Incroyable Arctique
Le Spitzberg



Prendre le large, c'est essentiel.

RIVAGES
DU MONDE

Embarquez à bord d'un véritable yacht d'expédition pour 180 passagers seulement. Un navire plus écologique doté de technologies de pointe permettant d'accéder aux ports les plus reculés. Vos conférenciers présents à bord : des scientifiques spécialistes des régions polaires.

SA01

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

Voguer. Échanger. Rêver

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros – Atout France IM 075 100 099 – Crédit photo : DR.

La trace d'un « bébé » stégosaure repérée en Chine

PALÉONTOLOGIE Une petite empreinte à trois doigts boudinés, unique, de moins de 6 cm révèle la trace laissée il y a 100 millions d'années par un jeune dinosaure à armure en Chine. Elle appartient à un animal du genre fossile *Deltapodus*, un stégosaurien connu uniquement à partir des pistes qu'il a laissées. De la taille d'un chat, le juvénile se déplaçait en compagnie d'adultes qui ont, eux, laissé des marques de 30 centimètres. **J. I.**

SOURCE : LIDA XING, UNIVERSITÉ DE GÉOSCIENCES DE PÉKIN, CHINE

KAITOGE - LIDA XING, PALAIOS

L'empreinte de trois doigts (à gauche) a été laissée par un jeune dinosaure de la taille d'un chat.

L'instrument se divisait pour en faciliter le transport.

SERVICE ARCHÉOLOGIE ET PATRIMOINE DU DÉPARTEMENT DU NORD

Une trompette gallo-romaine démontable

ANTIQUITÉ **La nouvelle a été claironnée ! Des tubes métalliques en alliage cuivreux découverts dans un dépôt votif du IIIe-IVe siècle, à Bavay (Nord) se sont révélés former un exceptionnel instrument de musique gallo-romain : une trompette de 2,70 m de long. Sans doute démonté pour faciliter son transport, l'instrument à vent emblématique des légions romaines serait l'un des plus complets et des mieux conservés parvenus jusqu'à nous. B. A.**

L'empreinte humaine sur la Terre est très ancienne

PALÉOÉCOLOGIE Il y a 12 000 ans, les humains avaient déjà façonné 72,5 % des terres de la planète. Un chiffre qui grimpe même à 90 % pour les forêts tropicales et 95 % pour celles en milieu tempéré, selon une étude comparant des cartes de populations et de l'utilisation des terres. Chasse, transhumance, polycultures ou jachères… la mosaïque de paysages restait favorable à la biodiversité. **H. J.**

SOURCE : ERLE ELLIS, UNIVERSITÉ DU MARYLAND À BALTIMORE, ÉTATS-UNIS.

RETOUR SUR

Une cité égyptienne pas si perdue

ÉGYPTOLOGIE L'annonce tonitruante de la découverte archéologique d'une « cité perdue », sur la rive ouest de Thèbes, en Égypte *(voir* S. et A. *n° 891 p. 22)*, a laissé dubitatifs quelques spécialistes. Les importantes ruines exhumées semblent en fait liées à une cité-palais du pharaon Amenhotep III (1386-1353 avant J.-C.) située à proximité.
Les vestiges mis au jour se situeraient dans la continuité d'un temple fouillé en 1935 par Clément Robichon et Alexandre Varille, de l'Institut français d'archéologie orientale. **B. A.**

REA

Les vestiges se trouvent près d'un temple fouillé dès 1935.

www.sciencesetavenir.fr et www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et *La Recherche* au quotidien

ASTROPHYSIQUE
La plus massive des étoiles à neutrons est plus grande que prévu

SPL

Entre 20 et 30 km : c'est le diamètre de PSR J0740+6620, l'étoile à neutrons la plus massive connue. Ce résultat a été annoncé le 17 avril à la suite d'observations de la mission Nicer, un télescope de la Nasa installé sur la Station spatiale internationale (ISS). Une mesure surprenante, de nombreux modèles théoriques prédisant une taille plus petite pour cet objet cosmique.
https://bit.ly/3y8g8F5

CLIMAT
La forêt amazonienne ne stocke plus de carbone

AFP

L'analyse par satellite de la biomasse de la forêt brésilienne montre que la déforestation et les dégradations du couvert émettent désormais plus de CO_2 que ne peuvent en stocker les arbres.
sciav.fr/892Amaz

ÉCOLOGIE
La gastronomie du futur sera aussi scientifique et écologique

AFP

Dans une interview, le chef français multiétoilé Thierry Marx donne sa vision de l'avenir pour la grande cuisine entre innovation scientifique, tradition mais aussi engagement écologique et social.
sciav.fr/892TMarx

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

VIVA TECHNOLOGY

16-19 JUIN
PARIS ET EN LIGNE

LE PLUS GRAND ÉVÉNEMENT EUROPÉEN DÉDIÉ À LA TECH & AUX STARTUPS

TIME TO RECONNECT*

*Il est temps de se reconnecter

POUR METTRE L'INNOVATION AU SERVICE DES GRANDS ENJEUX DE NOTRE SOCIÉTÉ

PLATEFORME DIGITALE EXCLUSIVE - NOUVEAU FORMAT EN PRÉSENTIEL - DÉBATS INSPIRANTS - DÉCOUVERTES INNOVANTES

RENDEZ-VOUS SUR WWW.VIVATECHNOLOGY.COM

PROFITEZ D'UNE REMISE DE 10% SUR VOTRE BILLET AVEC LE CODE PROMO : VT2021

ORGANISATEURS

PUBLICIS GROUPE

Groupe Les Echos Le Parisien

franceinfo: Brut. L'ÉQUIPE france•tv

africanews. euronews. i24 NEWS VIACOMCBS BFM BUSINESS

CANCER

La promesse des vaccins

Vacciner contre un cancer ? C'est déjà possible dans le cas des papillomavirus ou de l'hépatite B. Mais les chercheurs veulent aller plus loin : attaquer des tumeurs à un stade avancé ou encore prévenir l'apparition d'un cancer grâce à des vaccins stimulant le système immunitaire. Des essais cliniques ont été lancés.

Dossier réalisé par
Cécile Coumau, Camille Gaubert
et Hugo Jalinière

C'est un rêve qui permettrait peut-être un jour d'en finir avec le cancer : un vaccin capable d'apprendre au système immunitaire à reconnaître un processus cancéreux lorsqu'il s'enclenche pour le « tuer dans l'œuf ». Souvent considérée comme impossible, cette stratégie qui consiste à empêcher l'apparition d'un cancer de la même façon qu'on bloque une infection a pourtant connu des développements prometteurs ces dernières années. À tel point qu'aujourd'hui, des essais cliniques ont démarré pour conférer les moyens de se défendre au système immunitaire de patients considérés comme à haut risque de développer une tumeur cancéreuse. Pour l'heure ils ne portent encore que sur un nombre limité de personnes atteintes de cancers du poumon, de la prostate ou du sein, mais sur le papier, rien n'empêche d'appliquer la même stratégie à d'autres cancers. En attendant, le vaccin est déjà une réalité pour les cas où ledit cancer est provoqué par un agent pathogène infectieux. C'est le cas des infections à papillomavirus humain ou au virus de l'hépatite B, qui peuvent provoquer des lésions qui dégénéreront des années plus tard en cancer de l'utérus, de la gorge, de la bouche, etc. L'exemple australien le prouve : généraliser la vaccination chez les jeunes adultes entraîne la quasi-disparition de ces cancers. D'autres vaccins, dits thérapeutiques cette fois, sont déployés non plus pour empêcher le cancer, mais pour le combattre. Des approches d'immunothérapie déployées pour traiter des tumeurs avancées. Trois voies sur lesquelles *Sciences et Avenir* fait le point afin d'établir à quel point le rêve devient réalité. ■

H. J.

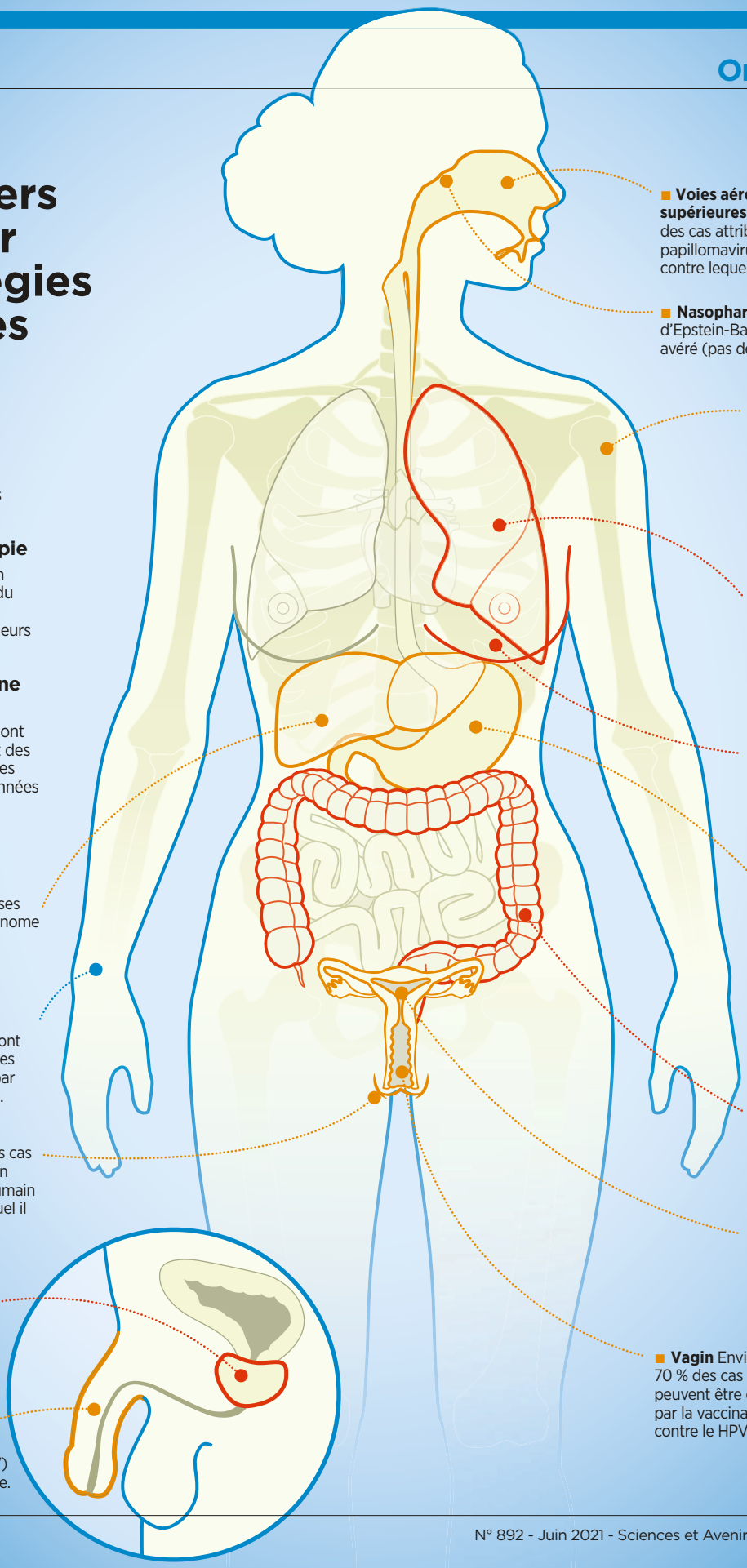
INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

Les cancers ciblés par les stratégies vaccinales

Les vaccins préventifs
Le but est de permettre à l'organisme de repérer et combattre efficacement l'émergence d'un processus cancéreux. **P. 28**

L'immunothérapie
Il s'agit de soigner en activant différents acteurs du système immunitaire pour qu'ils s'attaquent à des tumeurs avancées. **P. 31**

Cancers d'origine virale
Des vaccins « classiques » sont disponibles, qui empêchent des infections virales susceptibles d'induire des cancers des années plus tard. **P. 34**



■ **Voies aéro-digestives supérieures** Près de 30 % des cas attribués à un papillomavirus humain (HPV) contre lequel un vaccin existe.

■ **Nasopharynx** Le virus d'Epstein-Barr est un cancérogène avéré (pas de vaccin).

■ **Moelle osseuse** Certaines leucémies, comme le lymphome de Burkitt, sont induites par le virus d'Epstein-Barr (pas de vaccin).

■ **Poumon** Des recherches sur un vaccin prophylactique sont en cours.

■ **Sein** Des recherches sur un vaccin prophylactique sont en cours.

■ **Estomac** L'infection chronique par la bactérie *Helicobacter pylori* est l'un des principaux facteurs de risque (pas de vaccin).

■ **Côlon** Des recherches sont en cours sur un vaccin prophylactique.

■ **Utérus** Près de 90 % des cas sont évitables par la vaccination contre le HPV.

■ **Vagin** Environ 70 % des cas peuvent être évités par la vaccination contre le HPV.

■ **Foie** Les virus des hépatites B et C sont des causes majeures de carcinome hépatocellulaire (cancer du foie). Un vaccin existe.

■ **Peau** Les mélanomes sont parmi les premières tumeurs ciblées par l'immunothérapie.

■ **Vulve** 50 % des cas sont attribués à un papillomavirus humain (HPV) contre lequel il existe un vaccin.

■ **Prostate** Des recherches sont en cours pour empêcher l'apparition de ce cancer, le plus fréquent chez l'homme.

■ **Pénis** Plus de 50 % des cas sont dus à une infection par un papillomavirus humain (HPV) contre lequel un vaccin existe.

ANTIGÈNE En vaccination, c'est la molécule spécifique présentée au système immunitaire pour qu'il apprenne à fabriquer des anticorps neutralisants dirigés contre cette cible.

IMMUNOTHÉRAPIE Traitements qui activent les cellules et anticorps du système immunitaire pour lutter contre des cancers avancés.

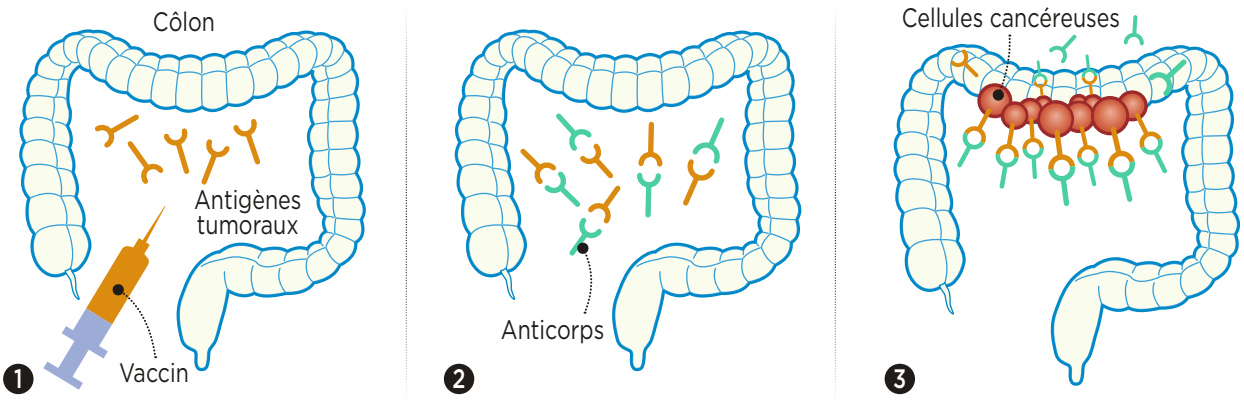
IMMUNOPRÉVENTION Stratégie consistant à entraîner l'immunité à reconnaître et cibler des antigènes propres à la formation d'un cancer pour empêcher celui-ci de se former.

Le rêve d'un vaccin préventif prend forme

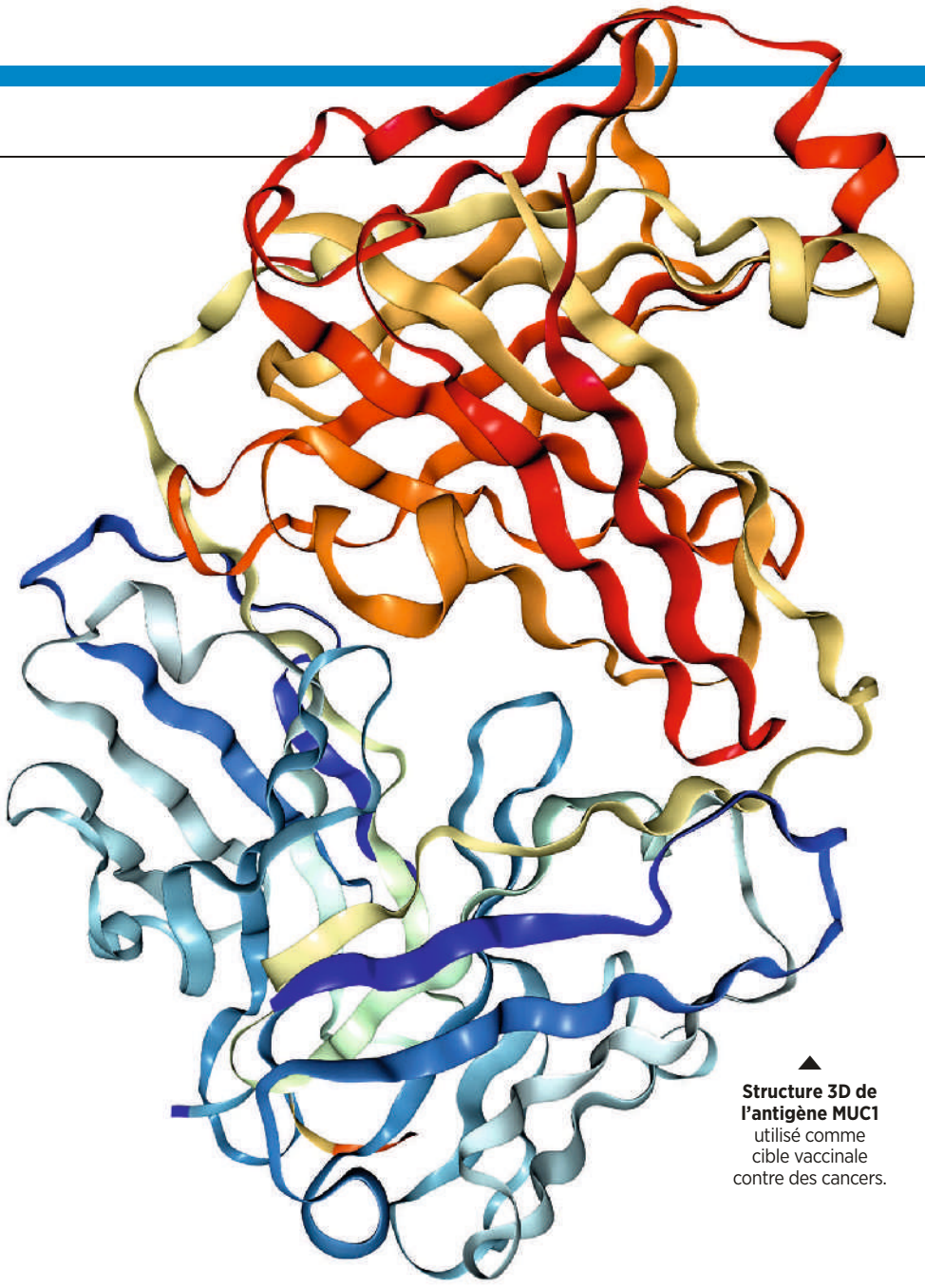
Pour les personnes à risque élevé de cancer, la piste d'un vaccin prophylactique contre le développement de cellules malignes livre des résultats prometteurs.

Empêcher le cancer de se développer dès son apparition, pour ne plus avoir à le combattre, comme on peut le faire avec certaines maladies infectieuses. Ce rêve un peu fou qu'une poignée de scientifiques voudraient voir aboutir consiste à apprendre au système immunitaire à fabriquer des anticorps et des cellules spécialisées dans la détection et la destruction des processus cancéreux. Il existe, bien sûr, déjà des vaccins qui empêchent certains cancers, de façon indirecte, en bloquant les virus dits oncogènes *(lire p. 30)*. Mais aucun qui s'attaque aux tumeurs les plus fréquentes, celles qui se forment au hasard de facteurs génétiques, environnementaux (tabac, alcool, pollution, etc.) et héréditaires. C'est ce que tentent de faire les équipes de la Mayo Clinic de Rochester, dans le Minnesota (États-Unis), et de l'Institut du cancer de l'université de Pittsburgh (États-Unis), avec un essai clinique démarré en 2018 et toujours en cours sur 50 fumeurs ou ex-fumeurs à très haut risque de contracter un cancer du poumon. Ils ont reçu le vaccin dit MUC1, du nom de cette protéine normalement exprimée par les cellules épithéliales — qui forment les surfaces interne et externe de nombreux organes (poumons, estomac, intestins, yeux, etc.). *« Mais en cas de processus cancéreux, la protéine MUC1 se trouve surexprimée dans une version anormale, mutée. C'est un marqueur présent dans des nombreuses tumeurs (poumon, pancréas, prostate, côlon...) qui s'en servent à la fois de moteur de croissance et de défense contre les traitements »*, explique Olivera Finn, professeure émérite à l'université de Pittsburgh. C'est son équipe qui a découvert cette version anor-

PRÉVENIR L'APPARITION DES TUMEURS



❶ Le vaccin présente à l'organisme les cibles vaccinales (antigènes). ❷ En réponse, le système immunitaire produit des anticorps neutralisants (en vert). ❸ Lorsqu'un processus cancéreux débute, les anticorps viennent bloquer les protéines tumorales et annihiler le développement de la tumeur.



BROOKS, C.L., MOVAHEDIN, M.

Structure 3D de l'antigène MUC1 utilisé comme cible vaccinale contre des cancers.

male de MUC1. Avec l'idée d'en faire un antigène tumoral cible pour un « vrai » vaccin, chargé de faire produire au système immunitaire les bons anticorps. . « *Les opportunités sont incroyables* », s'enthousiasme celle qui vient de quitter la direction du programme d'immunologie du cancer de l'université américaine.

C'est en 2013 que son équipe avait dévoilé ce vaccin, premier du genre, avec les résultats d'un premier essai mené cette fois chez 39 patients âgés à risque de cancer du côlon en raison d'adénomes avancés, sortes de tumeurs prémalignes. Chacun avait reçu trois doses du vaccin sur un an. En tout, 17 avaient présenté une forte réponse protectrice. La trop faible production d'anticorps des 22 autres était attribuée à un système immunitaire déjà trop affaibli pour en fabriquer des efficaces. « *Cela suggère qu'il pourrait être préférable de vacciner les personnes contre le cancer du côlon à un stade encore plus précoce* », explique Olivera Finn. D'autres essais pilotes ont été conduits depuis, sur le cancer de la prostate ou du sein avec des résultats balbutiants. « *L'objectif de ces vaccins prophylactiques [préventifs] est de renforcer la surveillance immunitaire naturelle du patient. Si votre médecin découvre que vous avez un risque élevé de cancer, l'idée serait de vous vacciner pour améliorer la capacité du système immunitaire à contenir les cellules anormales et éliminer les lésions prémalignes au lieu d'attendre de voir si le cancer se développe* », précise la scientifique.

Éliminer les cancers à un stade précoce

Plus facile à dire qu'à faire toutefois. L'idée n'est pas nouvelle certes. Dès 1943, le cancérologue américain Ludwik Gross démontrait que les souris auxquelles des tumeurs avaient été retirées étaient protégées contre la réimplantation de cellules tumorales de même lignée. Chez celles en bonne santé, au contraire, le cancer se développait très vite. « *Ces expériences ont prouvé que le système immunitaire pouvait reconnaître et éliminer les cancers avant qu'ils ne deviennent cliniquement apparents, de la même façon que le vaccin antivariolique a pu faire disparaître la maladie* », commente Elizabeth Jaffee, professeure d'immuno-oncologie à l'université Johns-Hopkins à Baltimore (États-Unis). Reste qu'à l'inverse d'un agent pathogène étranger, bien identifié, les tumeurs forment des micro-environnements cellulaires complexes, avec des éléments cancéreux, d'autres non, et même

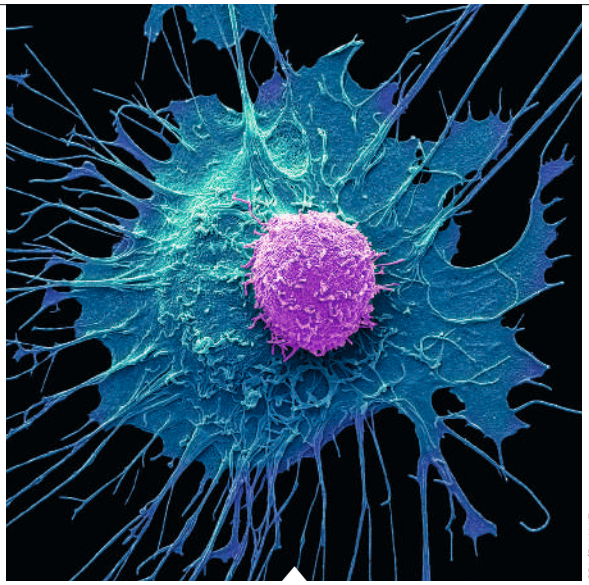
NATIONAL CANCER INSTITUTE

« Les opportunités offertes par un vaccin MUC1 sont incroyables »

Olivera Finn, professeure émérite à l'université de Pittsburg (États-Unis)

des cellules immunitaires saines incluses… « *Les gènes qui se modifient dans les cellules du patient, tout comme les antigènes tumoraux sont d'une extraordinaire diversité. La grande caractéristique du cancer c'est son extrême labilité* », rappelle le Pr Axel Kahn, généticien, président démissionnaire de La Ligue nationale contre le cancer. « *On n'arrive déjà pas à faire un vaccin contre le VIH du sida justement à cause de l'évolution permanente de ses antigènes, alors le cancer… Mais pourquoi pas ?* », ajoute celui qui est surtout focalisé aujourd'hui sur l'arrivée des ARN messagers dans l'immunothérapie *(lire p. 32)*.

Dans une revue de la littérature publiée en décembre 2020 sur le développement des vaccins MUC1 des chercheurs de l'université Jiaotong du Sud-Ouest à Chengdu, en Chine, réaffirment, eux, que MUC1 a « *tout le potentiel pour être utilisée comme cible pour la mise au point d'un vaccin universel contre le cancer* », mettant en avant, par exemple, sa présence comme marqueur « *dans la plupart des carcinomes humains* », qui représentent 90 % des cancers de la peau. Mais long est le chemin : « *Ça fait déjà longtemps que MUC1 est étudiée en immunothérapie, et on n'a jamais vraiment observé de bénéfice spectaculaire sur la mortalité des patients, donc je ne pense pas qu'il soit un bon candidat* », refroidit Fabrice André, directeur de la recherche au centre régional de lutte contre le cancer Gustave-Roussy, à Villejuif (Val-de-Marne). « *Pour un vaccin de ce type, il faudrait savoir, face à une situation à risque, quels sont les mécanismes de cancérisation, identifier les mutations à l'œuvre et les antigènes communs aux cancers pour ensuite vacciner contre ceux-là, précisément… mais c'est très difficile d'anticiper ces phénomènes chez une personne qui n'a pas encore été atteinte par la maladie* », poursuit le chercheur. Autrement dit, la « solution » MUC1, seule testée en ce sens à ce jour, paraît trop simple. « *Mais on pourrait utiliser d'autres approches modernes de modélisation des antigènes associées à de grandes études épidémiologiques qui donneraient la probabilité qu'un patient présente tel ou tel antigène* », imagine Fabrice André pour trouver mieux que MUC1.



SPL/PHANIE

Une cellule immunitaire (en rose) s'attaque à une cellule cancéreuse.

Une procédure qui n'est pas sans risque

Mais la recherche d'un tel vaccin reste lente. D'abord parce que les traitements pour les malades sont la priorité, ensuite parce qu'il existe déjà des moyens de réduire son risque de cancer en prenant soin de sa santé et de son environnement. Enfin, parce que les protocoles pour mener à bien cette recherche s'avèrent compliqués. Les patients à risque, mais sains, doivent être suivis de près sur plusieurs années pour évaluer une efficacité vaccinale ; et surtout, désigner le mauvais antigène au système immunitaire pourrait aussi conduire ce dernier à s'attaquer à des cellules non cancéreuses mal identifiées. Le cancer est toujours une sorte de dérivé génétique du patient lui-même, et il ne faudrait pas induire une maladie auto-immune chez une personne en bonne santé au prétexte de lui éviter un hypothétique cancer.

Aujourd'hui, il reste donc improbable qu'un vaccin unique puisse résoudre le fléau du cancer aussi simplement que pour un virus. À moins que l'essai de MUC1 chez les ex-fumeurs à Pittsburgh ne réserve une bonne surprise. ■

H. J. @hugojaliniere

ESSAI CLINIQUE

Vers des traitements personnalisés

Il n'y a pas un cancer unique : la maladie est spécifique à chaque patient, avec des caractéristiques génétiques propres, et donc des antigènes tumoraux spécifiques. Une diversité moléculaire qui contribue à la difficulté de mettre au point un vaccin préventif. La solution pourrait se trouver dans des formules personnalisées.

Cette piste est actuellement explorée dans un essai clinique lancé au début de l'année en France à l'Oncopole de Toulouse. La biotech Transgene a mis en place une plate-forme utilisant une intelligence artificielle pour sélectionner les antigènes tumoraux propres à chaque patient avant de les associer à un vecteur viral chargé d'éduquer le système immunitaire à combattre ces derniers. « *L'exploit scientifique et technologique est d'arriver à faire toutes les analyses génétiques et à produire en quelques mois un vaccin individuel en fonction du répertoire de mutations de chaque patient* », estime le Pr Jean-Pierre Delord qui coordonne l'essai clinique. Si la formule permet de soigner les malades, elle pourrait aussi réduire fortement le risque de récidive du cancer.

Les premiers résultats des tests qui pourront être conduits sur 30 patients devraient être connus au cours du second semestre de cette année.

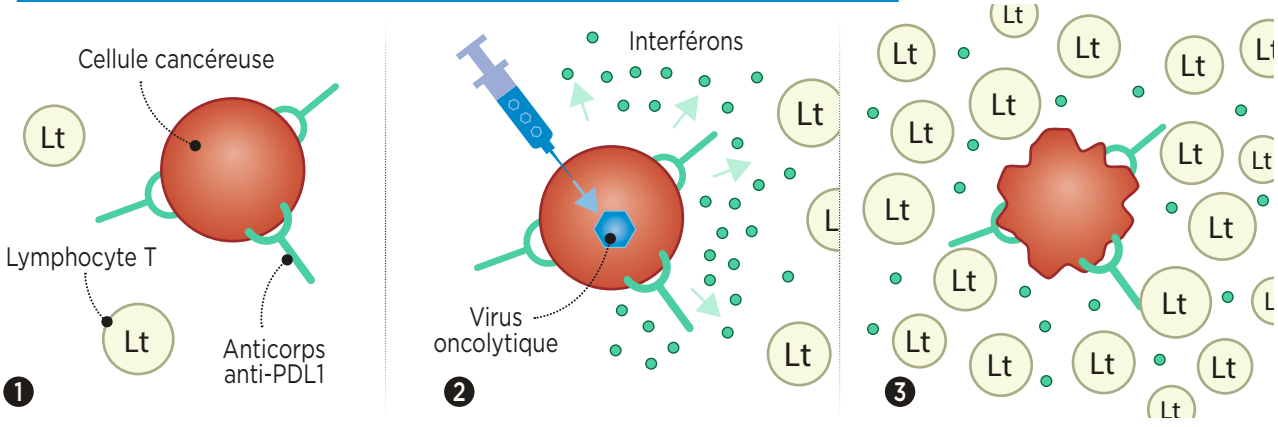
Des virus tueurs en soutien de l'immunothérapie

L'injection de « virus oncolytiques » dans la tumeur permet d'augmenter l'efficacité de l'immunothérapie… Un traitement est déjà disponible contre certains mélanomes.

De véritables tueurs de cancers, voilà ce que sont les « virus oncolytiques ». Injectés au niveau de la tumeur, ils infectent les cellules cancéreuses, pour lesquelles ils ont une prédilection naturelle. Cette piste a commencé à être creusée dans les années 1990 avec l'avènement de l'ingénierie génétique, qui permettait d'en améliorer l'efficacité et d'en diminuer les effets secondaires. Elle a abouti au T-VEC, un traitement — le seul commercialisé à ce jour — efficace sur environ 15 % des mélanomes (cancers de la peau). Encore balbutiante, cette technique s'inscrit parmi les traitements anticancéreux relevant des « immunothérapies ». L'idée est d'améliorer les défenses naturelles pour cibler les cellules cancéreuses. Ces défenses sont de deux types. D'abord des globules blancs, les lymphocytes T, qui détruisent les cellules anormales. Pour les orienter vers la tumeur, l'immunologiste Zelig Eshhar, de l'Institut Weizmann des sciences (Israël), a imaginé dans les années 1980 de les modifier en laboratoire. Ce sont les cellules CAR-T. Deuxième acteur : des anticorps. Certains, les anti-PDL1 et les anti-PD1, permettent d'éviter que les cellules cancéreuses inactivent l'action des lymphocytes T. Mais l'efficacité reste hélas ! modeste. *« Le recours aux anticorps anti-PD1 permet de guérir environ 20 % des cancers du poumon ou de la peau qu'on ne se savait pas soigner avant »*, constate Jean-François Fonteneau, chercheur Inserm à Nantes. La faiblesse, c'est que les lymphocytes T ne sont pas assez nombreux pour affronter la tumeur. Comment alors les attirer ? C'est ici qu'entrent en scène les virus.

« Chaque cellule, les cancéreuses comprises, a un "signal d'alarme" pour alerter le système immunitaire en cas d'infection. Toutes produisent des molécules, appelées interféron de type 1, pour prévenir les cellules alentour et activer des gènes aux fonctions antivirales », explique Jean-François Fonteneau. Mais ce faisant, elles alertent également les lymphocytes T, qui arrivent alors en nombre sur le site tumoral. L'intervention du virus permet ainsi en théorie d'augmenter l'efficacité du traitement. Cependant, l'essai clinique testant la combinai-

AMÉLIORER LES DÉFENSES IMMUNITAIRES POUR ATTAQUER LES TUMEURS



❶ L'immunothérapie utilise des cellules immunitaires (lymphocytes T) modifiées et des anticorps anti-PDL1 pour combattre la cellule cancéreuse. ❷ Pour amplifier son effet, un virus oncolytique est injecté dans la tumeur pour la forcer à produire des interférons, molécules de signalisation du système immunitaire. ❸ Ce qui conduit à la multiplication et à l'afflux des lymphocytes T anticancer dans la tumeur.

PHILIPPE QUAISSE / PASCO

PR AXEL KAHN PRÉSIDENT DÉMISSIONNAIRE DE LA LIGUE CONTRE LE CANCER

« L'ARN messager pourrait devenir la voie royale »

Utilisée dans les vaccins contre le Covid-19, cette technologie pourrait servir d'arme pour stimuler le système immunitaire afin de contrer les cellules cancéreuses.

La nouvelle technique de l'ARN messager (ARNm) qui rencontre un tel succès avec les vaccins contre le Covid-19 (Pfizer et Moderna) devrait trouver sa place dans le traitement du cancer. L'injection de ces brins d'ARN permet de faire produire n'importe quelle protéine particulière par nos propres cellules en leur fournissant le plan de fabrication génétique de ladite protéine. C'est formidable ! Et contre le cancer cela pourrait vite contribuer à mettre au point des thérapies plus facilement et plus rapidement. En France, il n'y a pas encore de recherche à ce sujet, c'est pourquoi la Ligue nationale contre le cancer vient de lancer un appel à projets sur l'utilisation innovante du concept d'ARN thérapeutique. *Stricto sensu*, nous ne sommes donc pas dans une logique de vaccin au sens où on l'entend d'habitude, mais plutôt d'immunothérapie sur des cancers avancés.

La technique pourrait servir dans tous les cas où l'on utilise déjà des protéines médicaments. Car la synthèse des ARN est autrement moins difficile que celle des protéines. L'immunothérapie cherche à stimuler la réponse immunitaire en la sensibilisant à des antigènes tumoraux, des protéines spécifiques. Et il y a donc énormément de cas où l'on pourrait faire exactement la même chose, mais en augmentant la production de ces antigènes à proximité de cellules immunitaires ciblées ou au niveau d'organes lymphoïdes (moelle osseuse, thymus, glandes lymphatiques...), riches en cellules potentiellement mobilisables pour acquérir un effet anticancer spécifique. Voire dans la tumeur elle-même où d'autres cellules ne demandent qu'à être

PARLEMENT EUROPÉEN

VÉRONIQUE TRILLET-LENOIR DÉPUTÉE EUROPÉENNE ET PROFESSEURE EN CANCÉROLOGIE

« La lutte contre le cancer passera forcément par la prévention »

Plus de 40 % des cancers pourraient être évités, notamment en agissant contre la consommation d'alcool et de tabac ou la présence de cancérogènes dans l'environnement.

Le fil conducteur du nouveau plan cancer présenté par la Commission européenne en février est la lutte contre les inégalités en matière de prévention, détection de la maladie, d'accès aux traitements et du soutien aux patients et leurs proches. Le cancer est une maladie d'injustice sociale. Nous sommes inégaux en termes de prévention et d'accès aux soins, inégalement protégés contre les cancérogènes environnementaux, inégalement éduqués en matière de comportements à risque ou face à la désinformation. C'est ainsi qu'en Europe, le taux de survie à cinq ans après un cancer varie de 38 à 64 % selon les pays. Dans le cas du cancer du sein par exemple, une Suédoise a 86 % de chances de survie à cinq ans après traitement, contre 66 % pour une Lituanienne.

La lutte contre le cancer passera forcément par la prévention. La marge de progression est énorme : plus de 40 % des cancers pourraient être évités, notamment en prévenant le tabagisme et la consommation d'alcool. L'Europe est la région du monde où l'on fume le plus, avec une proportion de fumeurs qui varie d'un facteur 5 d'un pays à l'autre. Le niveau de consommation d'alcool aussi est élevé et varie de 3,8 l par personne et par an en Macédoine du Nord à 12,9 l en République tchèque. La France se situe dans les pays les plus consommateurs, avec 11,2 l. Le programme Pacte Vert de l'Union européenne fait partie de la politique de prévention. Il promeut une alimentation saine et la lutte contre la pollution atmosphérique, qui s'ajouteront à des dispositifs de lutte contre les carcinogènes environnementaux et sur les lieux de travail.

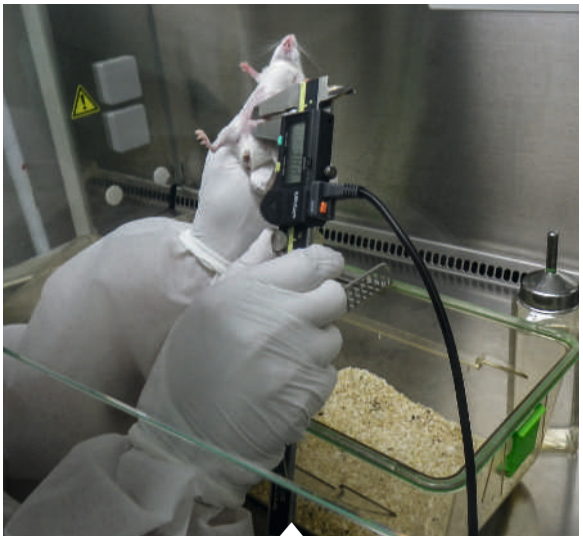
Mais la vaccination est également un axe important en matière de prévention. Les programmes nationaux

activées. L'avantage espéré à partir de ce qu'on voit avec les vaccins contre le Covid-19, c'est d'obtenir une très grande réactivité du système immunitaire à cette forme de production. Autrement dit, une production massive d'antigènes tumoraux dans un très petit nombre de cellules à un endroit précis qui pourrait permettre de rompre la tolérance immunologique que développent les tumeurs. Donc il y a plusieurs pistes qui méritent d'être explorées dans ce cadre-là. Désormais, à chaque fois qu'on utilise des anticorps, chaque fois qu'il s'agit d'immuniser contre une cible protéique, alors l'ARN messager pourrait devenir la voie royale. ■

Propos recueillis par H. J.

dans la prévention des cancers liés aux maladies infectieuses sont prometteurs, en particulier la lutte contre le papillomavirus humain (*lire p. 34*). La majorité des États membres ont introduit une campagne de vaccination, mais là encore des écarts importants apparaissent dans le niveau de couverture vaccinale, de moins de 30 % à plus de 70 %, qui est le niveau requis pour une bonne efficacité. La France est d'ailleurs plutôt autour des 30 %, ce qui est caractéristique de son retard en matière de prévention. Elle pourrait s'inspirer des mesures incitatives des pays d'Europe du Nord en particulier. » ■

Propos recueillis par C. G.



FONDATION GUSTAVE ROUSSY

L'utilisation du vaccin anti-rotavirus, a permis d'obtenir, chez la souris, une régression spectaculaire de certaines tumeurs.

son du T-VEC et des anti-PDL1 a été interrompu par le laboratoire Amgen faute d'efficacité.

C'est justement pour améliorer la performance de ces virus que les chercheurs passent en revue les vaccins existants. Beaucoup d'entre eux contiennent en effet des virus atténués (rendus inoffensifs) ou inactivés (tués) dont on découvre les propriétés oncolytiques. « *Le virus de la rougeole atténué utilisé dans le vaccin ROR [rougeole, oreillons et rubéole] infecte et tue certaines cellules cancéreuses, mais pas les cellules saines* », a découvert Jean-François Fonteneau, qui étudie leur utilisation pour le traitement des cancers thoraciques. Au Centre de recherche en cancérologie de Lyon, une équipe dont fait partie la chercheuse Sandrine Wittmann a de son côté identifié un autre vaccin, celui du rotavirus, administré aux enfants pour les immuniser contre certaines gastro-entérites. « *Nous pensions au début que l'activité lytique [la capacité du virus à se multiplier dans ses cellules hôtes jusqu'à les tuer] était nécessaire, mais pas du tout ! On observe les mêmes effets avec ces virus inactivés, donc sans propriétés lytiques* », s'enthousiasme-t-elle. Même inactivés, les virus déclenchent un mécanisme de mort cellulaire, l'apoptose. Combiné aux immunothérapies, le vaccin présente une efficacité « spectaculaire » — et durable — chez la souris sur de nombreux cancers, même les plus agressifs comme celui du pancréas et de la vessie, rapporte-t-elle. « *En une injection, nous voyions disparaître des tumeurs qui flambaient.* »

Un candidat prometteur… le Sras-CoV-2

Dernier candidat en date, mais loin d'être le moins prometteur : le Sras-CoV-2, responsable de la pandémie de Covid-19. En l'atténuant, « *il pourrait être un formidable antitumoral : il en a toutes les propriétés. Il induit notamment de fortes réactions anti-inflammatoires* », explique Sandrine Wittmann, qui espère obtenir l'autorisation de l'utiliser dans ses travaux. Mais selon elle, il ne faut pas compter sur un seul vaccin pour tous les cancers, mais sur une grande panoplie de virus à administrer en fonction des cancers et du patient, toujours en complément de l'immunothérapie.

Reste qu'aujourd'hui, les chercheurs qui explorent ces pistes se heurtent à un problème de taille : les patients qui pourraient en bénéficier sont déjà pour la plupart inclus dans d'autres essais cliniques. Ils ont alors déjà subi des chimiothérapies qui ont pour effet secondaire d'altérer le système immunitaire. « *Quand on arrive sur des rechutes de rechute, il n'y a plus rien à activer* », déplore Sandrine Wittmann. En clair, le système est déjà trop affaibli pour pouvoir être stimulé. Pourtant, les virus oncolytiques sont un « *vaste domaine en pleine explosion* », maintient Sandrine Wittmann. Car ce traitement potentiel très peu coûteux pourrait amplifier encore l'efficacité des immunothérapies. ■

C. G. CamilleGaubertb

POUR EN SAVOIR PLUS

Livre

- **L'immunothérapie des cancers, histoire d'une révolution médicale,** Éric Vivier et Marc Daëron, éd. Odile Jacob.

Web

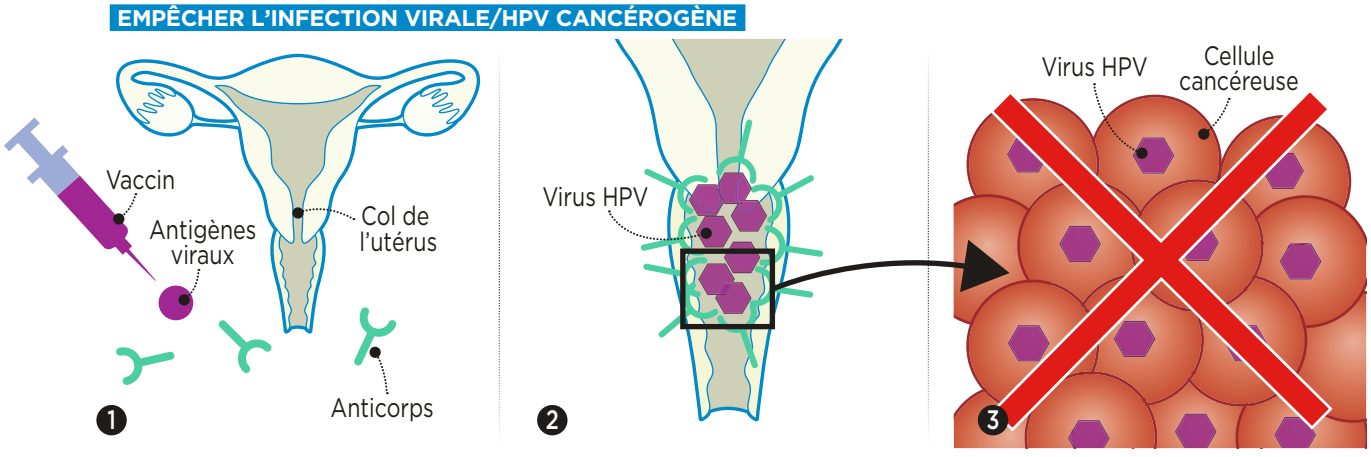
- Spot vidéo sur les cancers HPV réalisé par la Société canadienne du cancer : **sciav.fr/892HPV**
- Voir en vidéo le système immunitaire s'attaquer aux cellules cancéreuses : **sciav.fr/892Cancer**

Des armes efficaces contre les cancers viraux

Plus d'un cancer sur six dans le monde est d'origine infectieuse. Pour les prévenir, deux vaccins ont été mis sur le marché, ceux contre le papillomavirus et contre l'hépatite B.

Un risque de cancer du col de l'utérus diminué de 88 % grâce à la vaccination. Ce résultat a été révélé par une étude suédoise publiée en octobre 2020 dans le *New England Journal of Medicine*. L'Australie a été le premier pays à lancer un programme de vaccination contre les papillomavirus humains (HPV), et ce dès 2007. Les filles y sont depuis vaccinées à partir de 12 ans, et la campagne a été rapidement étendue aux garçons. Aujourd'hui, la couverture vaccinale dépasse 78 % et un dépistage est effectué tous les cinq ans chez les femmes de 25 à 69 ans. Résultat : selon des estimations publiées dans *The Lancet Public Health* en 2018, le cancer du col de l'utérus pourrait être éradiqué en Australie en 2028. Un succès sans précédent. En France, les autorités recommandent aussi cette vaccination chez les jeunes filles depuis 2007. Malgré cela, en 2018, moins d'un quart de celles âgées de moins de 17 ans en avaient bénéficié. Quant aux garçons de 11 à 14 ans, le remboursement de la vaccination par l'Assurance maladie n'a été annoncé qu'en décembre 2020. Pourtant, le vaccin est loin de ne protéger que du seul cancer de l'utérus. Elle permet aussi de prévenir bien d'autres cancers comme celui de l'anus dont le HPV est responsable à 85 %, mais aussi du vagin (70 %), du pénis (60 %), de la vulve (40 %) ou encore des voies aéro-digestives supérieures (de 13 à 56 % selon la localisation).

Si la vaccination contre le HPV est aujourd'hui le principal exemple de stratégie vaccinale contre les tumeurs d'origine infectieuse, elle est loin d'être la seule. Car cette piste est explorée depuis longtemps. Dès 1985, l'Institut Pasteur a mis au point le premier vaccin anticancer : celui contre l'hépatite B (VHB), qui est une cause majeure d'un cancer du foie, le carcinome hépatocellulaire. Pourtant, plus de trente ans plus tard, 8200 nouveaux cas de ce cancer sont encore diagnostiqués annuellement en France et l'incidence progresse même de 2,5 % par an. Principale explication : le très long délai d'apparition de la tumeur après l'infection — 30 à 40 ans. De plus, l'agent infectieux est nécessaire mais pas suffisant : « *La consommation d'alcool est l'un des principaux facteurs de risque du cancer du foie* », souligne Antoine Gessain, responsable de l'unité d'Épidémiologie et de physiopathologie des virus oncogènes de



1 Des antigènes viraux de différentes souches d'HPV (papillomavirus) composent le vaccin. 2 En réaction, l'organisme produit des anticorps. Lorsque plus tard, la personne est infectée par le virus, les anticorps le reconnaissent et se multiplient. 3 En bloquant l'infection, les lésions cancéreuses sont empêchées.

VOISIN/PHANIE

Alors que l'Australie approche de l'éradication, moins d'un quart des jeunes filles de moins de 17 ans sont vaccinées contre le HPV en France.

l'Institut Pasteur. De quoi largement masquer les effets positifs de la vaccination.

Au niveau mondial, *« bien qu'il existe un vaccin sûr et efficace contre le VHB, il faudrait encore près de 90 ans pour arriver à l'élimination du virus. Et à condition que cette vaccination soit universellement pratiquée à la naissance »*, estiment Nathalie Ganne-Carrié et Marc Bourlière, secrétaire générale et président de l'Association français pour l'étude du foie dans le *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, en novembre 2020. Selon leurs estimations, dans ce délai, 80 millions de personnes décéderont de cette maladie.

Si des solutions vaccinales existent pour ces deux infections, d'autres cancers d'origine infectieuse sont en attente d'un vaccin. C'est le cas du virus d'Epstein-Barr (EBV). 95 % de la population mondiale en est porteuse, or *« il est impliqué dans 1 à 2 % de tous les cancers »*, déclare Henri-Jacques Delécluse, directeur de l'unité Inserm Microbiologie et maladies infectieuses. En 1958, quand des particules du virus d'Epstein-Barr ont été découvertes dans des cellules d'une leucémie particulière, le lymphome de Burkitt, *« la piste infectieuse dans les cancers était à peine imaginable »*, témoigne-t-il. Soixante ans plus tard, aucun vaccin n'a été mis au point. *« L'EBV a un génome de bien plus grande taille que le HPV »*, justifie Henri-Jacques Delécluse. Le bénéfice serait pourtant évident. Éliminer cet agent infectieux permettrait en effet de limiter les cas de cancers du nasopharynx, de l'estomac, en plus des lymphomes de Burkitt. Et ce n'est pas tout : cette infection par l'EBV multiplie par 2 à 4 le risque de contracter un autre cancer, le lymphome hodgkinien.

La recherche piétine faute de moyens investis

L'EBV n'est pas le seul agent infectieux oncogène dont la piste vaccinale reste sans issue. Pas moins de huit autres virus, trois parasites à l'origine de cancers des voies biliaires très rares, présents surtout en Asie du Sud-Est, et une bactérie sont classés agents cancérogènes « certains » par le Centre international de recherche sur le cancer. Ils sont responsables de 2,2 millions de nouveaux cas de cancers chaque année dans le monde. Parmi eux, la bactérie *Helicobacter pylori*, première cause du cancer gastrique. Elle a fait l'objet de plusieurs tentatives de vaccin hélas infructueuses, et à ce jour un seul essai de phase 1 reste en cours. À n'en pas douter, c'est aussi un problème de moyens investis. *« Les vaccins ne sont développés que s'il existe un marché solvable non négligeable*, explique Antoine Gessain. *Or, les cancers d'origine infectieuse, même s'ils comptent pour plus d'un cancer sur six, sont inégalement répartis sur la planète : ils représentent moins de 10 % de l'ensemble des cancers dans les pays développés contre 30 % dans certains pays d'Afrique. »* Force donc est de constater que la piste des vaccins anticancers bute aussi sur le mur des inégalités. ■ **C. C.**

@ cecilecoumau

INSTITUT PASTEUR

« Les cancers d'origine infectieuse représentent 30 % de tous les cancers dans certains pays d'Afrique »

Antoine Gessain, responsable de l'unité d'épidémiologie et de physiopathologie des virus oncogènes à l'Institut Pasteur à Paris

Fusion nucléaire : l'offensive des start-up

Dans la course à la maîtrise de l'énergie des étoiles, deux entreprises privées innovent pour distancer la coopération internationale Iter. Pour cela, elles misent sur de nouveaux supraconducteurs très performants.

Par Franck Daninos @fdaninos

FISSION NUCLÉAIRE. Elle consiste à briser de gros atomes — en particulier l'uranium-235 — en deux plus légers. Cette réaction libère de l'énergie ainsi que des neutrons qui scindent eux-mêmes d'autres atomes, et ainsi de suite.

FUSION NUCLÉAIRE Elle permet d'assembler deux noyaux atomiques pour former un noyau plus lourd. Cette réaction, qui libère d'immenses quantités d'énergie, se produit de manière naturelle dans le Soleil et la plupart des étoiles magnétiques.

SUPRACONDUCTEURS Matériaux qui propagent le courant électrique sans aucune résistance au-dessous d'une certaine température, généralement ultrafroide.

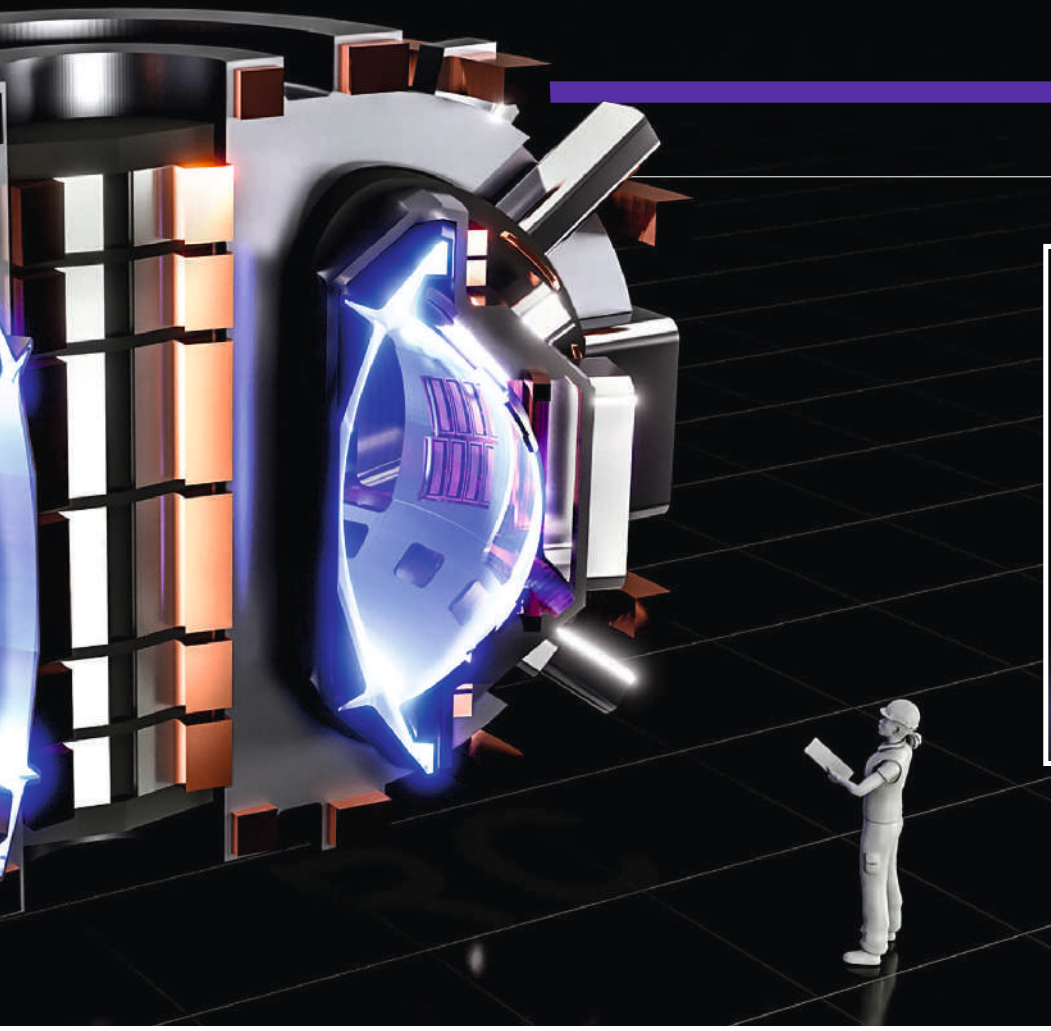
En 2025 : VOILÀ L'ÉCHÉANCE ENVISAGÉE par une start-up américaine d'à peine 3 ans d'âge pour réaliser le premier réacteur à fusion produisant davantage d'énergie qu'il n'en consomme. Et démontrer, par la même occasion, que cette source d'énergie qui consiste à faire fusionner des atomes d'hydrogène et reproduire des phénomènes qui se déroulent au cœur même des étoiles pourra alimenter à terme le réseau électrique mondial. En cas de succès, elle réaliserait cet exploit avant Iter (International Thermonuclear Experimental Reactor), vaste projet réunissant l'Union européenne, le Royaume-Uni, la Suisse, les États-Unis, la Chine, l'Inde, la Russie, la Corée du Sud et le Japon, amorcé il y a près de 40 ans ! De quoi exciter les investisseurs : installé à Cambridge dans le Massachussetts (États-Unis), à quelques pâtés de maison du célèbre MIT, Commonwealth Fusion Systems a déjà levé 215 millions de dollars auprès de plusieurs fonds de capital-risque. Avec une entreprise concurrente — Tokamak Energy, basée quant à elle au Royaume-Uni —, Commonwealth Fusion Systems mise sur une technologie clé : des aimants surpuissants mais de taille modeste, conçus avec des matériaux aux propriétés électriques et magnétiques hors du commun. « *Nous réaliserons cet été les premiers tests à grande échelle*, annonce Bob Mumgaard, P-DG de la jeune pousse américaine. *Et si tout se passe comme prévu, nous commencerons à assembler le réacteur d'ici à la fin de l'année.* »

50 fois moins volumineux
Le réacteur SPARC comparé à celui d'Iter.

10 000 tonnes
La masse des aimants utilisés par Iter.

20 teslas
Le champ magnétique des aimants qui seront testés cet été.

Ces nouveaux acteurs font leur apparition alors que cela fait près d'un siècle que les scientifiques s'efforcent de domestiquer l'énergie des étoiles. C'est que les réactions de fusion génèrent, à masse égale, quatre fois plus d'énergie que la fission des atomes (*voir lexique ci-dessus*) et huit millions de fois plus que la combustion du pétrole. Et contrairement à la fission nucléaire exploitée dans les centrales, elles ne produisent aucun déchet radioactif de haute activité à vie longue ni aucun gaz à effet de serre. Mais elles sont extrêmement difficiles à réaliser.

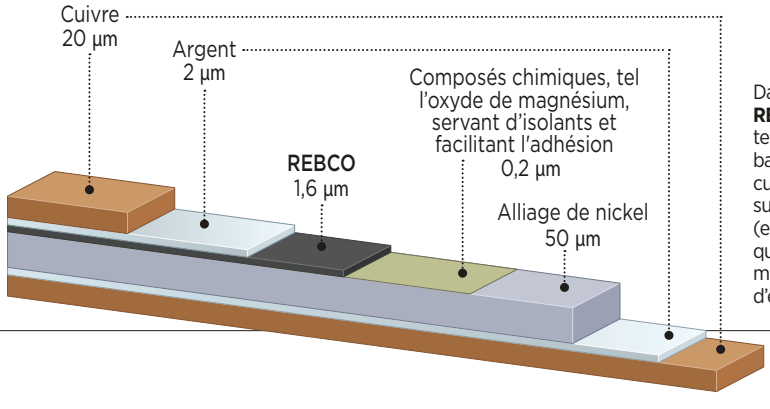


Cet électroaimant en forme de « D », qui mesure 2,6 m de haut, sera testé cet été par l'entreprise américaine Commonwealth Fusion Systems. Il utilise la technologie des supraconducteurs REBCO et sera l'une des pièces maîtresses du futur réacteur à fusion SPARC (à gauche).

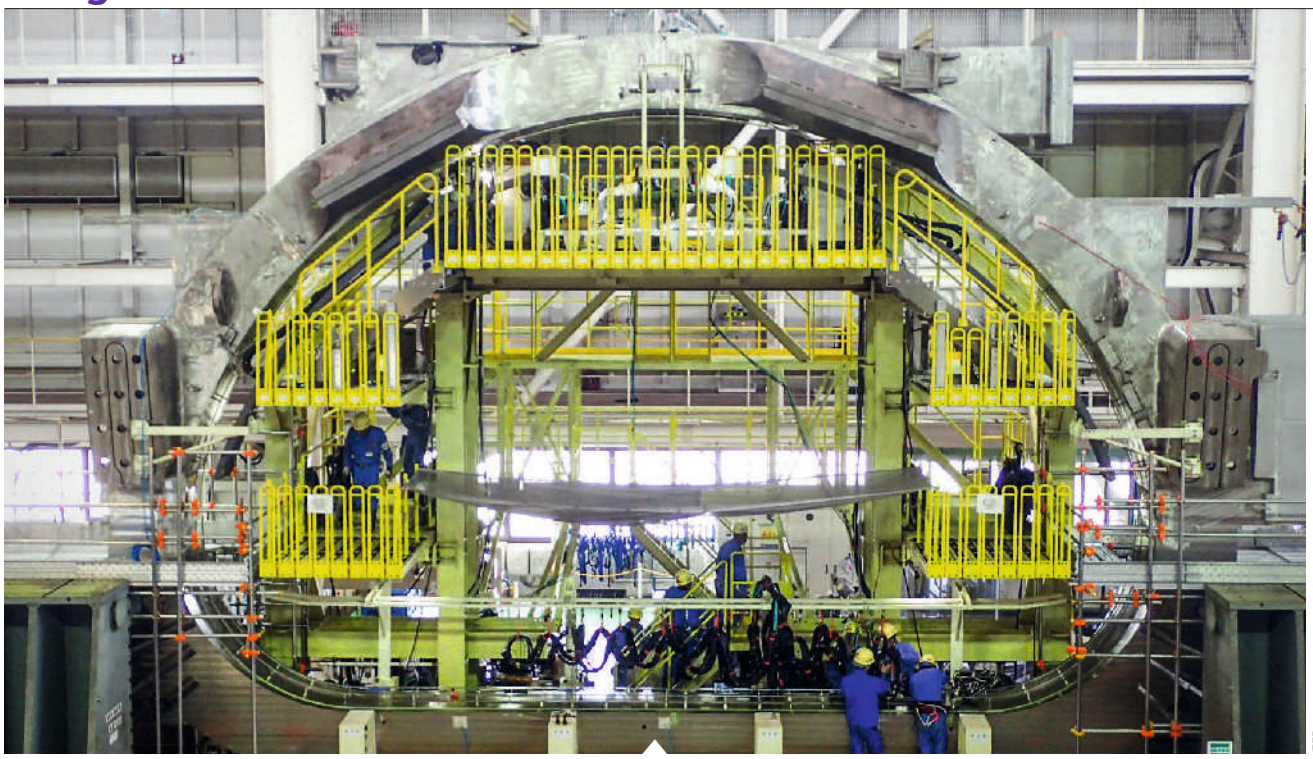
CFS/MIT-PSFC — CAD RENDERING BY T. HENDERSON - CFS

« *Pour fusionner en laboratoire, les atomes d'hydrogène doivent être soumis à des températures gigantesques, supérieures à 100 millions de degrés* », explique Pascal Tixador, professeur à l'université Grenoble-Alpes et au Laboratoire de génie électrique à Grenoble. Les atomes se dissocient alors de leurs électrons, formant un gaz ionisé appelé « plasma » où les noyaux s'entrechoquent à très grande vitesse et peuvent fusionner. Dénommés tokamaks, des réacteurs en forme d'anneau permettent de contrôler de tels milieux. « *Ils génèrent un entrelacs de champs magnétiques qui confinent le plasma et l'empêchent de faire fondre la machine* », signale le physicien. D'importantes quantités d'énergie sont donc nécessaires pour chauffer et contenir pareille fournaise. Or les réactions de fusion doivent en produire davantage encore pour qu'une exploitation commerciale soit un jour possible. C'est justement l'un des principaux objectifs d'Iter, qui construit à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), le plus gros tokamak du monde. Un géant capable de générer 500 millions de watts de puissance pour 50 millions de watts injectés lorsqu'il atteindra ses pleines capacités en 2035. Ses dimensions seront pour le moins titanesques : 30 mètres de haut et quasi autant de large… pour une masse totale de 23 000 tonnes ! Or près de la moitié du poids de la machine sera occupée par des électroaimants. « *Une quarantaine en tout, le plus gros mesurant 24 mètres de large* », précise Sébastien Koczorowski, un des responsables des aimants d'Iter. Ces électroaimants seront tous composés de câbles « supraconducteurs », alliages de niobium-titane et de niobium-étain transportant d'immenses quantités de courant sans perte d'énergie. « *Ils produiront des champs magnétiques atteignant jusqu'à 13 teslas, près de 300 000 fois plus intenses que le champ magnétique terrestre* », détaille l'ingénieur. Or

Un supraconducteur extrafin, souple et enroulable



Dans un ruban **REBCO** (oxydes de terres rares, de baryum et de cuivre), la partie supraconductrice (en noir) ne mesure que un à deux micromètres d'épaisseur.



ITER

L'aimant « toroïdal » d'Iter de 360 tonnes et 17 mètres de large en construction au Japon. Il a été ensuite acheminé sur le site du futur réacteur de fusion nucléaire, à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), construit par une coopération internationale réunissant les principales puissances mondiales.

pour fonctionner, les câbles supraconducteurs doivent être refroidis à une température ultrafroide (4 kelvins, soit -269 °C), à l'aide d'encombrants dispositifs cryogéniques nécessitant de l'hélium liquide. Ces derniers contribueront pour près d'un tiers au coût opérationnel du réacteur, les aimants engloutissant eux-mêmes 30 % du budget global d'Iter... estimé à 18 milliards d'euros !

Mais comment des start-up peuvent-elles prétendre rivaliser avec d'aussi gigantesques moyens ? *« L'énergie d'un plasma en fusion dépend de son volume — d'où les dimensions pharaoniques d'Iter — mais aussi du champ magnétique qui le contient*, explique Sylvie Nicollet, ingénieure de recherche au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). *En accroissant ce dernier, on peut ainsi, soit augmenter l'énergie, soit réduire le volume de plasma pour un bilan équivalent.* » Et c'est bien ce que Commonwealth Fusion Systems et Tokamak Energy comptent faire : diminuer la taille et donc les coûts des réacteurs en produisant des champs magnétiques encore plus puissants. Une perspective rendue possible par un nouveau type de matériaux supraconducteurs appelés REBCO (*rare-earth barium copper oxyde*). Composés d'oxydes de terres rares, de baryum et de cuivre, ils transportent des quantités de courant encore plus importantes et supportent des champs magnétiques 10 à 40 fois plus élevés. *« Ils fonctionnent aussi à des températures moins extrêmes : jusqu'à 80 kelvins, même si la température optimale se situe autour de 20 kelvins*, relève Pierre Védrine, qui dirige le Département des accélérateurs, de cryogénie et de magnétisme au CEA. *L'écart peut paraître faible avec les supraconducteurs conventionnels mais il permet de s'affranchir de l'hélium liquide et d'alléger ainsi les dispositifs de refroidissement.* »

Des réacteurs plus compacts et plus puissants

Découverts en 1987, ces supraconducteurs dits à haute température ont longtemps été délaissés par les ingénieurs. *« Assimilables à des céramiques, ils étaient en effet très cassants — un peu comme du carrelage — et ne pouvaient être enroulés dans des bobines d'électroaimants »*, rappelle Pierre Védrine. Mais des techniques de microdéposition développées au début des années 2010 — soit bien après les choix technologiques d'Iter, qui ne peut donc pas en bénéficier ! — permettent désormais de les

CEA

« Accroître le champ magnétique, permet d'augmenter l'énergie ou de réduire le volume de plasma pour un bilan équivalent »

Sylvie Nicollet, ingénieure de recherche au Commissariat à l'énergie atomique (Saclay, Essonne)

manipuler à souhait. En incorporant de très fines couches de REBCO d'un à deux micromètres d'épaisseur entre diverses structures protectrices *(voir l'infographie p. 37)*, elles produisent des rubans souples, enroulables tels des rouleaux de Scotch. « *Cette technologie permettra d'ériger des réacteurs plus compacts et plus rapidement, aspects essentiels pour une future commercialisation* », augure David Kingham, vice-président de Tokamak Energy. « *Les rubans REBCO changent la donne dans le secteur de la fusion* », renchérit pour sa part Bob Mumgaard. Sa compagnie en a ainsi acheté des centaines de kilomètres à la poignée d'industriels qui en produisent depuis quelques années, pour des activités de recherche et développement essentiellement *(lire l'encadré ci-contre)*. Ils ont servi à façonner un électroaimant de 2,6 m de haut. Il devrait générer des champs magnétiques de 20 teslas — 1,5 fois plus intenses que ceux d'Iter. « *C'est le plus gros aimant jamais conçu avec des supraconducteurs à haute température !* » s'enthousiasme Pascal Tixador. *Les analyses qui seront menées prochainement défricheront ainsi des terrains inconnus.* »

Il constituera la pièce maîtresse d'un réacteur — baptisé SPARC — censé produire 100 mégawatts de puissance pour 50 mégawatts injectés. « *Le tout dans un tokamak 50 fois moins volumineux qu'Iter et ce dès 2025* », claironne Bob Mumgaard. Tokamak Energy, qui testera d'ici à la fin de l'année des aimants similaires (20 teslas), est plus mesuré dans sa communication. « *Nous devrons apprendre à préserver leurs propriétés supraconductrices. Et notre premier prototype affichant un gain net d'énergie ne sera pas opérationnel avant le début des années 2030* », prévient David Kingham. Plusieurs problèmes restent en effet à résoudre. Ils concernent la stabilité des supraconducteurs, mais aussi « *leur tenue aux radiations ainsi que les immenses forces mécaniques, correspondant à des centaines de millions de pascals, générés par ces champs magnétiques* », souligne Sylvie Nicollet. Sans compter le coût des rubans REBCO, 10 à 100 fois plus chers que les câbles en niobium-titane, même si les prix devraient baisser peu à peu. Et en attendant, Iter mènera des expériences pour mieux comprendre les phénomènes de turbulence dans un plasma en fusion ou étudier des solutions afin d'extraire l'énergie produite. La prudence reste donc de mise face aux annonces de start-up en quête d'investisseurs et de visibilité. Mais les tests conduits dès cet été permettront de mieux comprendre à quel point, à terme, les supraconducteurs à haute température révolutionneront la maîtrise de l'énergie des étoiles. ■

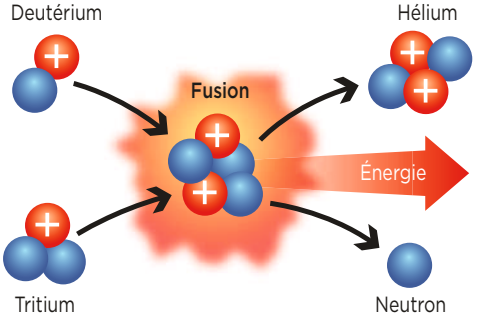
SUPRACONDUCTION

Des aimants qui séduisent le Cern ou Airbus

Les aimants supraconducteurs de type REBCO devraient profiter à d'autres secteurs que la fusion nucléaire. « *Ils suscitent un vif intérêt pour de nombreuses applications, tant scientifiques qu'industrielles,* assure David Kingham, vice-président de la start-up britannique Tokamak Energy. *Nous collaborons notamment avec l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire,* [le Cern, situé en Suisse près de Genève] *pour ses futurs accélérateurs de particules.* » Sa plus imposante machine, le LHC, utilise des aimants en niobium-titane pour faire tournoyer des faisceaux de protons dans un tunnel circulaire de 27 km. Ils produisent des champs magnétiques d'environ 8 teslas permettant d'atteindre une énergie de 14 téraélectronvolts (TeV). « *Or seuls des aimants plus puissants permettront de franchir un nouveau palier et d'explorer plus avant le monde des particules* », indique Pierre Védrine, chercheur au CEA. Le successeur du LHC devrait utiliser ainsi des supraconducteurs REBCO, générant des champs magnétiques de 20 teslas pour atteindre 100 TeV. Mais ces matériaux enthousiasment aussi des avionneurs tel Airbus. « *Incorporés dans des moteurs, ils permettraient de réduire considérablement les pertes électriques* », souligne le physicien. Des constructeurs de câbles à haute tension comme le français Nexans planchent eux aussi sur un nouveau type de structures enfouies sous la terre et composées de REBCO, plus économes en énergie.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Comment les atomes fusionnent



BRUNO BOURGEOIS

Les réactions de fusion les plus efficaces en laboratoire font intervenir deux formes — ou isotopes — de l'hydrogène : le deutérium, qui contient un neutron (en bleu dans le schéma) et un proton chargé positivement (en rouge) ; et le tritium, qui possède deux neutrons et un proton. Leur fusion produit un noyau d'hélium et de grandes quantités d'énergie, un neutron étant par ailleurs éjecté. Le deutérium est distillé à partir de l'eau des océans. Et le tritium, isotope radioactif, peut être obtenu en propulsant des neutrons vers des atomes de lithium qu'on trouve en abondance dans la croûte terrestre.

Juno poursuit son flirt avec Jupiter

En orbite autour de la géante gazeuse depuis 2016, la sonde de la Nasa a livré une moisson de données inédites sur son champ gravitationnel et son atmosphère. Un succès qui a convaincu l'agence américaine de prolonger la mission.

Au plus près de la planète géante

Afin d'effectuer des mesures précises permettant d'affiner nos connaissances sur la structure interne de Jupiter, la sonde doit parvenir au plus près de la planète. Pour cela, elle adopte une trajectoire lui permettant d'éviter les puissantes ceintures de radiations qui détruiraient ses instruments.

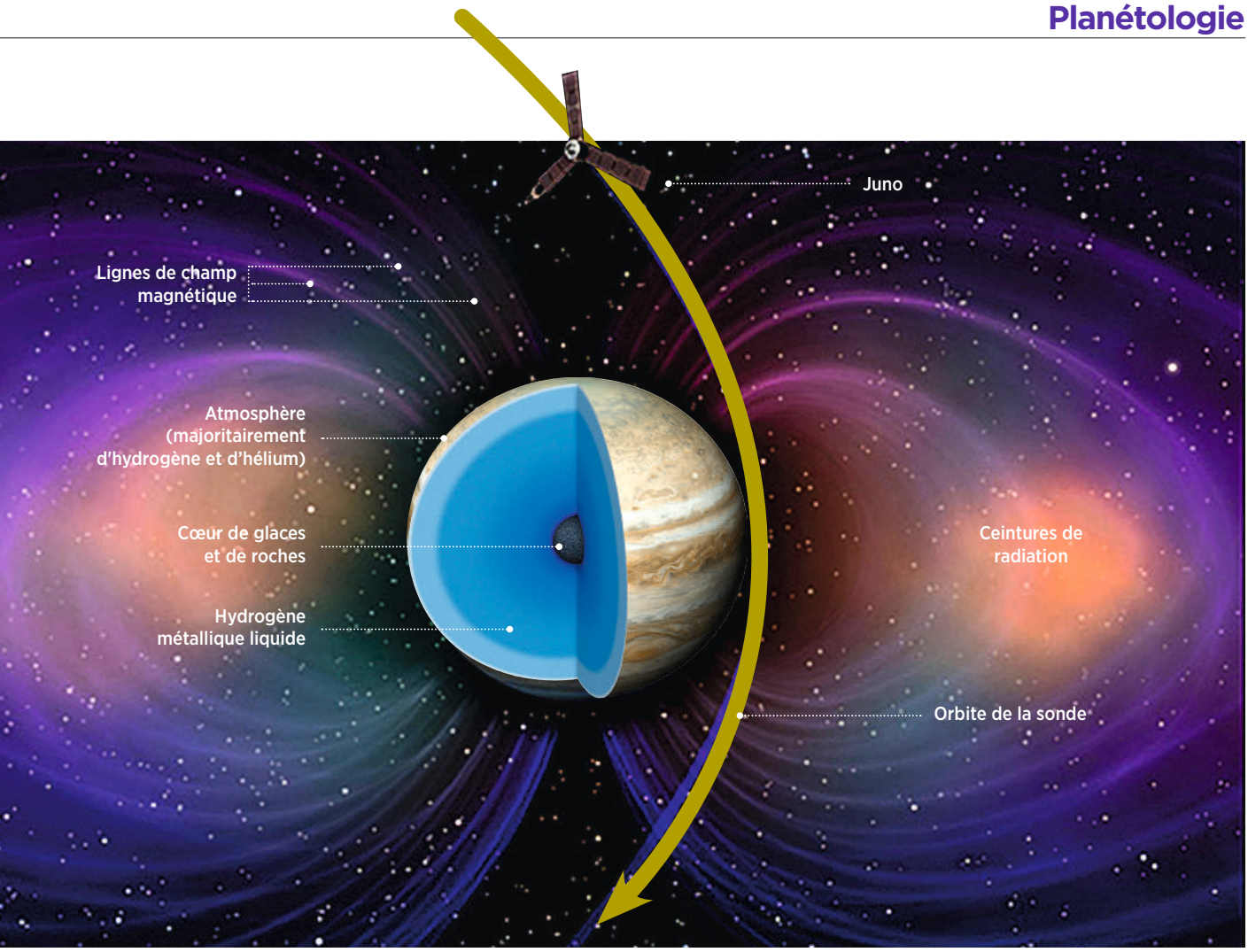
Quatre ans de plus à flirter avec Jupiter... C'est officiel : la sonde Juno va poursuivre l'exploration méthodique de la planète la plus massive du Système solaire et de sa kyrielle de satellites. Après cinq ans passés en orbite, elle devait pourtant « mourir sur scène », en se précipitant dans l'épaisse atmosphère jovienne cet été. Mais son excellente santé a convaincu la Nasa de poursuivre l'aventure. Ce qui réjouit les participants à cette mission pas comme les autres. « *Pioneer, Voyager 1 et 2, Galileo... Jupiter a été visitée de nombreuses fois depuis les années 1970*, se souvient Philippe Zarka, astrophysicien à l'observatoire de Paris. *Mais aucune sonde ne l'avait frôlée d'aussi près, à 5000 kilomètres environ. Si l'on compare Jupiter à un ballon de basket, cela revient à s'en approcher à moins d'un centimètre. D'où une moisson de données d'une précision inédite, sur son champ magnétique et son atmosphère notamment.* » Cette orbite, clé du succès de la sonde, constitue à elle seule un petit chef-d'œuvre de mécanique céleste. Juno arrive presque au-dessus du pôle nord, puis plonge entre la haute atmosphère et la ceinture de radiations qui entoure Jupiter au niveau de l'équateur, avant de repartir loin dans l'espace, à près de 7 millions de kilomètres. Cette ceinture de radiations, qu'elle évite en se faufilant par un trou de souris, est engendrée par le fort champ magnétique de Jupiter. Il retient prisonniers des flux d'électrons dont l'énergie détruirait les équipements électroniques de la sonde... Ce champ constitue l'un des aspects les plus remarquables de la géante gazeuse. « *C'est le plus puissant de tout le Système solaire, et de loin*, détaille Philippe Zarka. *Juno, grâce ses magnétomètres, a pu en réaliser une carte très précise, révélant son intensité et sa topologie, complexe. Les champs magnétiques de la Terre et de Jupiter sont dominés par leur composante dipolaire [qui correspond aux lignes de champ s'étirant du pôle nord au pôle sud magnétiques]. Sur Jupiter, des champs quadrupolaires et octopolaires intenses se superposent au champ dipolaire. D'où le "fouillis" des lignes de champ magnétique [voir l'image p. 42].* »

Le prolongement de la mission devrait apporter quelques réponses quant à l'origine de ce champ hors norme. « *Juno, en effectuant de nouvelles orbites, va nous permettre d'affiner la carte du champ magnétique, et surtout d'observer sa variation au cours du temps, car nous aurons en tout dix ans de mesures*, reprend Philippe Zarka. *Il deviendra le mieux connu du Système solaire, après celui de la Terre.* » Cette carte

PHILIPPE ZARKA

« Avec les nouvelles orbites de Juno, le champ magnétique de Jupiter sera le mieux connu après celui de la Terre »

Philippe Zarka, directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Lésia, observatoire de Paris)

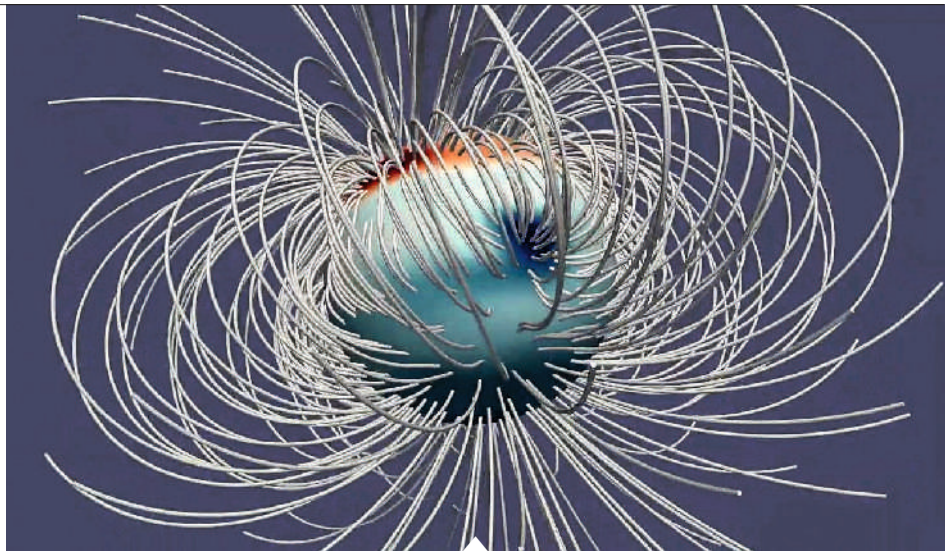


NASA/JPL-CALTEC - SCIENCE PHOTO LIBRARY/GARLICK MARK

dynamique mènera peut-être à sa source, dans les profondeurs de la planète… On y trouve notamment des plasmas, un état de la matière constitué d'un mélange d'ions et d'électrons. *« La distribution des particules chargées sous l'effet conjugué de la gravité, de la force centrifuge et de la pression due à leur agitation thermique, peut engendrer des champs électriques qui à leur tour accélèrent ou décélèrent les particules chargées*, détaille Philippe Zarka. *Par ailleurs, les champs électriques et magnétiques engendrés par les particules chargées rétroagissent sur elles. Nous allons continuer d'explorer cette physique des plasmas grâce à ce laboratoire à l'échelle d'une planète, offrant des conditions de taille, de température, de pression, de densité que nous ne pourrions pas reproduire sur Terre.* » S'il est si prometteur, c'est que ce fabuleux « labo » a d'ores et déjà livré quelques-uns des secrets de sa structure. Juno a en effet cartographié le champ gravitationnel de Jupiter.

Revoir les modèles de formation de la planète

L'intensité de ce champ en un point donné de l'espace dépend uniquement de la quantité de matière présente à l'aplomb de ce point. *« Grâce à son orbite rasante, la sonde a multiplié par 100 la précision des mesures dont nous disposions jusque-là*, explique Tristan Guillot, planétologue à l'observatoire de la Côte-d'Azur et co-investigateur de la mission Juno. *Ainsi, nous pouvons mieux lire la structure de la planète. Et nous avons eu des surprises. Ce champ révèle que le noyau, d'environ une dizaine de masses terrestres de roches et de glaces, semble dilué : sa frontière avec la couche supérieure, de l'hydrogène métallique liquide, n'est pas nette comme nous le pensions.* » L'intérieur de la planète est donc davantage brassé que prévu. Grâce à la modélisation, les chercheurs ont peut-être trouvé une explication. *« Jupiter, peu après sa formation, aurait subi une collision avec un corps d'environ 10 fois la masse de la Terre*, estime Tristan Guillot. *Cet impact central aurait heurté le précédent noyau et chauffé l'intérieur de la planète. D'où le fait qu'il y ait un peu de convection, de brassage. Cela reste une hypothèse, il se peut que nous par-*



NASA/JPL-CALTECH/HARVARD/MOORE ET AL.

Représentation du champ magnétique de Jupiter. Les couleurs foncées indiquent les zones fortement positives (rouge) et négatives (bleu). Les « fils » gris correspondent à la direction du champ magnétique dans l'espace (lignes de champ).

venions à expliquer ces mesures autrement. Quoi qu'il en soit, Juno nous a amenés à revoir nos modèles de formation de Jupiter. »

Au-delà du noyau, l'atmosphère a également bénéficié des lumières de Juno. La première planète à s'être formée dans le Système solaire est constituée essentiellement d'hydrogène et d'hélium. Sa composition se rapproche donc de celle du gaz de la nébuleuse primordiale, qui a donné naissance au Soleil puis aux planètes. Mais l'abondance en eau de la planète n'était pas connue. Là encore, la sonde a permis des avancées… « *Juno a montré que l'abondance d'eau dans l'atmosphère profonde correspond à un enrichissement d'un facteur entre 1 et 5 par rapport à la nébuleuse protosolaire*, indique Tristan Guillot. *Autrement dit, loin d'avoir conservé la composition du gaz primordial, Jupiter a été enrichie en eau et autres éléments, comme le méthane et l'ammoniac. D'où vient cet apport ? Là encore, l'hypothèse d'une collision géante ayant conduit à un enrichissement de l'enveloppe à partir du noyau central est possible. Mais la question reste ouverte.* »

Enfin, malgré l'opacité de l'atmosphère, les chercheurs sont parvenus à entrevoir quelques aspects de sa météo… Elle serait notamment caractérisée par de très violents orages, accompagnés de pluies de grêlons constitués de 30 % d'ammoniac et 70 % d'eau. Ces orages se formeraient un peu comme sur Terre, à partir de la condensation de l'eau, environ 50 km sous les nuages visibles de Jupiter. « *Nous avons imaginé ce mécanisme afin d'expliquer pourquoi, sous certaines latitudes, les mesures prises par Juno indiquent des concentrations en ammoniac et en eau très irrégulières depuis les couches supérieures jusqu'à des profondeurs de 200 km ou plus*, explique Tristan Guillot. *Ces orages de grêle entraîneraient l'eau et l'ammoniac vers l'intérieur de la planète. Cette hypothèse est confirmée par de nombreux éclairs photographiés par Juno.* »

Des vents violents et de puissants vortex

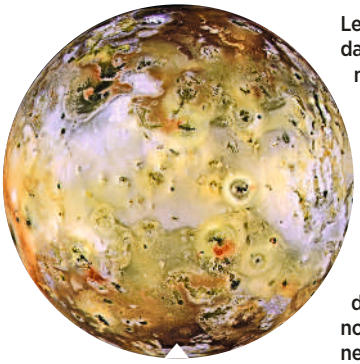
L'étude de l'atmosphère restera l'une des missions de Juno pour les quatre ans à venir, avec notamment l'observation des puissants vortex dont elle a révélé l'existence près des pôles, et des vents violents qui pénètrent l'atmosphère sur plus de 3000 km de profondeur. « *Jupiter est un terrain d'expérience fascinant pour la météorologie, très différent de la Terre*, conclut Tristan Guillot. *Elle n'a pas de surface, et tout ce qui condense (eau, ammoniac) est plus dense que l'hydrogène et l'hélium majoritaire. L'air humide a donc tendance à tomber alors que chez nous, où l'azote domine, il remonte sous l'effet de la poussée d'Archimède. Jupiter, c'est notre monde à l'envers !* »

Juno devrait poursuivre sa mission jusqu'en septembre 2025, avant une ultime plongée dans l'atmosphère. Mais les parages ne resteront pas déserts longtemps. Les missions JUICE, de l'Agence spatiale européenne, et Europa Clipper, de la Nasa, devraient prendre le relais dès 2029… ■

Fabrice Nicot @fnicot07

OBSERVATION

Les satellites de Jupiter sont aussi dans l'œil de Juno



NASA/JPL/UNIVERSITY OF ARIZONA

Io compte des centaines de volcans en activité.

Les quatre plus gros satellites de Jupiter, dits galiléens, seront davantage visités par la sonde que lors de la première partie de la mission. En modifiant peu à peu son orbite, Juno survolera deux fois Ganymède, trois fois Europe et surtout, 11 fois Io. Ce satellite compte plusieurs centaines de volcans en activité, ce qui en fait l'astre le plus actif du Système solaire. Cela provient de l'attraction gravitationnelle de Jupiter et des autres satellites qui le malaxent en permanence. Les membres de l'équipe Juno ont d'ores et déjà pu assister « en direct » à des éruptions, et mesurer la température et la composition des panaches de dioxyde de soufre, de sulfure d'hydrogène et d'eau expulsés dans la mince atmosphère de Io. Ils ont également découvert de nouveaux volcans, notamment proches du pôle sud. Mais la sonde ne s'était pas approchée à moins de 195 000 km. Dans sa nouvelle phase, elle la survolera à seulement 1500 km, entre décembre 2023 et février 2024. Le spectacle promet d'être éblouissant.

Jusqu'à 1,5 million de bulles dans un verre de bière

Elles apparaissent, grossissent, remontent vers la surface et diffusent leurs molécules aromatiques : une étude livre le secret des bulles de bière.

Combien y a-t-il de bulles dans un demi de bière — un verre de 250 millilitres pour les connaisseurs ? Entre 200 000 et 1,5 million, répondent Gérard Liger-Belair et Clara Cilindre, physiciens à l'université de Reims Champagne-Ardenne qui ont réalisé la première étude détaillée sur les bulles de bière, l'une des boissons alcoolisées les plus consommées au monde. *« De nombreuses recherches avaient été effectuées sur la mousse, mélange de bulles d'air et de dioxyde de carbone, mais quasi aucune sur la formation des bulles. Il y avait ainsi tout un terrain scientifique à défricher »*, rapporte Gérard Liger-Belair, qui travaille déjà depuis près de vingt ans sur les vins effervescents.

Le duo s'est penché sur les bières les plus commercialisées, dites à fermentation basse, qui ont un goût de houblon et de malt et dont la teneur en alcool est relativement limitée (entre 4° et 5°). Différentes grandeurs ont été mesurées telles la densité et la viscosité du breuvage, mais surtout la quantité de dioxyde de carbone dissous (avec des techniques chimiques utilisant des enzymes) qui s'élève à 5,19 grammes par litre. Ces données ont permis d'établir, à partir des équations de la thermodynamique, dans quelles conditions les bulles apparaissaient. *« Leur formation résulte des anfractuosités présentes sur les parois du verre — des défauts, de petites rayures ou encore des poussières atmosphériques — qui piègent de minuscules poches d'air et captent ainsi le dioxyde de carbone dissous »*, indique l'expert. Mais pour donner naissance à des bulles, les anfractuosités doivent faire au minimum 1,4 micromètre de diamètre, ont calculé les chercheurs, lorsque la température est de 6 °C (optimale pour la dégustation). *« Une taille deux fois plus importante que pour une flûte de champagne*, détaille Gérard Liger-Belair, *en raison de la différence de composition du liquide et de la température de dégustation qui avoisine plutôt les 10 °C. »*

Entre 200 000 et 1,5 million de bulles sont libérées dans un verre de 25 cl de bière. Leur formation est due aux minuscules anfractuosités présentes sur la paroi du verre (en médaillon).

Éclater pour aromatiser

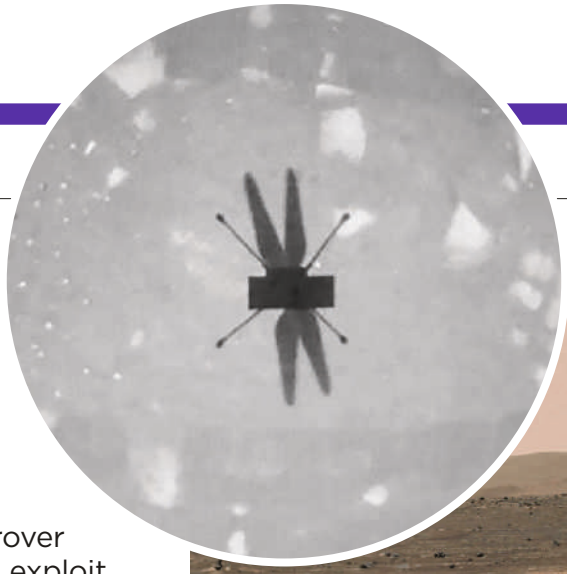
Les bulles qui éclosent dans la bière, de seulement 10 à 20 micromètres de large, sont d'abord invisibles à l'œil nu. Elles grossissent néanmoins à mesure qu'elles remontent le long des parois du verre et captent de plus en plus de dioxyde de carbone, phénomène qui a pu être examiné avec des caméras ultrarapides. *« En surface, les bulles mesurent ainsi 0,5 millimètre en moyenne et seront d'autant plus grosses que le verre est haut »*, souligne Gérard Liger-Belair. Elles jouent alors un rôle essentiel dans l'expérience organoleptique des consommateurs. En éclatant, les petites sphères de gaz diffusent en effet les molécules aromatiques du liquide, tel un brumisateur de parfum ! *« Au-delà de la curiosité intellectuelle, ces recherches intéressent ainsi les fabricants de bière avec lesquels nous avons engagé plusieurs collaborations »*, confie le physicien champenois. ■

Franck Daninos @fdaninos

TETRAIMAGES/ANDIA.FR - 2021 LIGER-BELAIR, CILINDRE

On a volé sur Mars !

Le petit hélicoptère Ingenuity, embarqué sur le rover Perseverance de la Nasa, a réussi plusieurs vols. Un exploit technologique car l'atmosphère de la planète Rouge est 70 fois moins dense que celle de la Terre.



« POUR LA PREMIÈRE FOIS, *l'humanité a fait voler un engin motorisé sur une autre planète !* » Mimi Aung, cheffe de projet au Jet Propulsion Laboratory de la Nasa à Pasadena (États-Unis), a de quoi se réjouir et être solennelle. Le petit hélicoptère – baptisé « Ingenuity » — dont elle a coordonné la fabrication est entré dans l'histoire de l'aéronautique et ouvre des perspectives fascinantes pour l'exploration planétaire. Il s'est élevé, le 19 avril, à trois mètres au-dessus de la surface de Mars puis a plané durant une trentaine de secondes avant d'atterrir en douceur. La séquence a été filmée par le rover Perseverance sur lequel l'hélicoptère était embarqué et qui stationnait, prudemment, à soixante mètres de là.

La mise au point de l'aéronef a nécessité six ans

D'autres vols ont été réalisés par la suite, à chaque fois plus ambitieux. Le 7 mai, Ingenuity a parcouru ainsi une distance 129 mètres depuis sa « plateforme de décollage », avant de se hisser à 10 mètres d'altitude pour photographier la zone. Forte de ces succès, la Nasa a décidé de prolonger d'au moins un mois les tests pionniers de son « gyravion ». Et de passer d'une mission de démonstration technologique à une « *mission de démonstration opérationnelle, où nous rassemblerons des informations sur la capacité de l'hélicoptère à accompagner et apporter un soutien à Perseverance* », a annoncé Lori Glaze, directrice de la division des sciences planétaires de la Nasa pour l'étude des planètes.

Des engins avaient certes déjà volé au-dessus d'autres astres que la Terre, comme les ballons soviétiques Vega 1 et Vega 2 largués en 1985 dans l'atmosphère de Vénus. Ils dérivaient néanmoins au gré des vents car ces vols n'étaient ni propulsés ni contrôlés, contrairement à ceux d'Ingenuity. La mise au point de l'aéronef a nécessité six années, mobilisé une centaine de scientifiques et coûté 85 millions de dollars. « *Voler sur Mars est beaucoup plus difficile qu'il n'y paraît*, insiste François Forget, chercheur au Laboratoire de météorologie dynamique de Sorbonne-Université. *De nombreux défis devaient être surmontés, c'est un véritable exploit !* »

La région où Perseverance et Ingenuity ont atterri en février est balayée en effet par des vents turbulents et irréguliers soufflant jusqu'à 50 km/h à la mi-journée. « *Ils peuvent rabattre l'hélicoptère dans toutes les directions. Et doivent sans cesse être calculés et compensés pour stabiliser l'engin* », détaille François Forget. Mais la difficulté principale réside dans l'atmosphère très ténue de la planète

POUR EN SAVOIR PLUS

Écoutez le vol d'Ingenuity enregistré par Perseverance : **sciav.fr/892Ingenuity**

RESSOURCES

Perseverance a produit de l'oxygène

5,4 g : c'est la quantité d'oxygène que le rover Perseverance a fabriqué sur Mars le 20 avril, au lendemain du vol inaugural du drone Ingenuity. Cette autre prouesse a été réalisée par l'instrument MOXIE (Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment) installé à l'avant droit de l'astromobile. Pas plus gros qu'un grille-pain, il aspire le dioxyde de carbone (CO_2) atmosphérique et scinde cette molécule afin de produire du monoxyde de carbone (CO) et du dioxygène (O_2) à l'aide de procédés électrochimiques fonctionnant à température très élevée (800 °C). D'autres tests seront réalisés au cours de l'année pour produire jusqu'à 10 grammes d'oxygène par heure. Une démonstration technologique visant à développer des machines beaucoup plus volumineuses et capables de produire de l'oxygène pour de futurs astronautes : une tonne par personne et par année serait nécessaire.

SIPA - NASA/JPL-CALTECH

Lors de son deuxième vol (en médaillon), le petit hélicoptère, filmé par la caméra située sous son fuselage, s'est élevé à 5 m au-dessus du cratère Jezero, le lieu d'atterrissage de Perseverance (ci-dessus).

Rouge, 70 fois moins dense que sur Terre au niveau de la mer. « *Il y a simplement moins de molécules à pousser* », avait expliqué Mimi Aung avant le premier vol. Les pales d'Ingenuity, dont le « corps » ne mesure que 50 cm de haut et pèse 1,8 kg, sont ainsi particulièrement longues (1,2 m). Composées de mousses et de fibres de carbone, elles sont ultralégères (35 g) et « *leur forme, complexe, a été optimisée par des simulations numériques* », indique François Forget. Pour produire la poussée nécessaire, elles tournent surtout à des vitesses très élevées : 2400 rotations par minute, cinq fois plus que les hélicoptères terrestres. L'expérience acquise par Ingenuity servira à fabriquer de nouvelles générations d'aéronefs. « *Ce drone est un peu l'équivalent de Sojourner, premier rover martien, qui ne pesait que 10 kg, déposé par la Nasa en 1997*, relève le planétologue. *Il a permis de valider des technologies et construire des astromobiles de plus en plus perfectionnés, jusqu'à Perseverance qui pèse plus d'une tonne.* » Les prochains hélicoptères martiens, dont la masse pourrait atteindre 30 kg, devraient embarquer ainsi une panoplie de capteurs. Ils seraient utilisés pour guider des rovers, explorer des zones difficilement accessibles comme des canyons ou des grottes ou assister des astronautes lors de futures missions habitées. L'ère de l'exploration planétaire par les airs a bel et bien commencé. ■

Franck Daninos
@fdaninos

PAR AURÉLIEN ALVAREZ *

Les mathématiques, un langage universel

Depuis Galilée, les mathématiques apparaissent comme le langage le plus efficace auquel nous avons accès pour comprendre et décrire le monde physique qui nous entoure. Si celles-ci mettent quotidiennement à disposition de nouveaux outils potentiellement utiles dans les autres sciences, il n'en demeure pas moins que le moteur principal du développement de cette science est sa logique propre et les questions mathématiques qu'elle pose.
Même si aujourd'hui elles couvrent un spectre très large, ce qui les caractérise avant tout est leur unité dans un langage universel et extrêmement cohérent. C'est souvent en partant d'exemples très spécifiques que les mathématiciens généralisent, conceptualisent puis proposent des éclairages nouveaux sur des problèmes *a priori* sans aucun rapport avec l'exemple particulier de départ.

> « Cette discipline ne laisse qu'une place marginale à l'affect ; ce qui est superflu et entaché de subjectivité est évacué au maximum »

Il s'agit là d'une démarche intellectuelle très féconde, que ce soit avec des concepts élémentaires comme celui de nombre ou d'autres beaucoup plus élaborés comme ceux d'espace, de dimension, de dynamique, d'attracteur, de symétries, etc.
Les mathématiques sont un langage universel qui, par sa précision, permet un contact fort avec le monde réel. Cette discipline ne laisse qu'une place marginale à l'affect ; ce qui est superflu et entaché de subjectivité est évacué au maximum. Cela explique en partie que les mathématiques sont la seule science où les remises en cause sont particulièrement rares et que leur développement est plutôt cumulatif.
Un théorème reste un théorème même si le cadre conceptuel et le langage dans lequel il est formulé peuvent évoluer au fil du temps et en permettre une compréhension nouvelle voire plus profonde. ■

* Professeur à l'École normale supérieure (ENS) de Lyon

Ils sauvent la Méditerranée

Ce n'est pas un constat qui sera suivi d'hypothétiques actions : c'est déjà aujourd'hui une réalité, la Grande Bleue peut être sauvée. Les États riverains se donnent les moyens d'agir contre sa dégradation. Voici comment.

Par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

LAURENT BALLESTA - PLANÈTE MÉDITERRANÉE

LA LISTE DES PLAIES de la mer Méditerranée est bien plus longue que celle de l'Égypte. La hausse des températures dans l'atmosphère due aux gaz à effet de serre est déjà de 1,54 °C depuis 1850. L'eau de mer a quant à elle gagné 0,4 °C en un siècle et son niveau grimpe d'un millimètre tous les ans. La qualité de l'air est médiocre dans les villes côtières, où l'ozone, les oxydes d'azote, les particules fines naturelles dépassent, au nord comme au sud, les normes de l'Organisation mondiale de la santé. Cette mer fermée accumule 64 millions de microdéchets de plastique par kilomètre carré. Au moins 78 espèces marines sont en danger d'extinction. Voilà pour le — terrible — constat. Mais la Méditerranée a un atout. Ses 512 millions de riverains l'aiment et 360 millions de touristes viennent l'admirer tous les ans. Alors les bonnes volontés, l'argent, les techniques ne manquent pas pour la sauver. « *Notre chance, c'est que ce bassin est un haut lieu de la culture et du patrimoine de l'humanité. Il y a donc consensus pour la préserver, y compris au sein des 22 États riverains pourtant si dissemblables* », assure Nasser Kamel, secrétaire général de l'Union pour la Méditerranée. Voici 4 des actions en cours pour la sauver.

18 %
des espèces marines connues dans le monde vivent dans la mer Méditerranée.

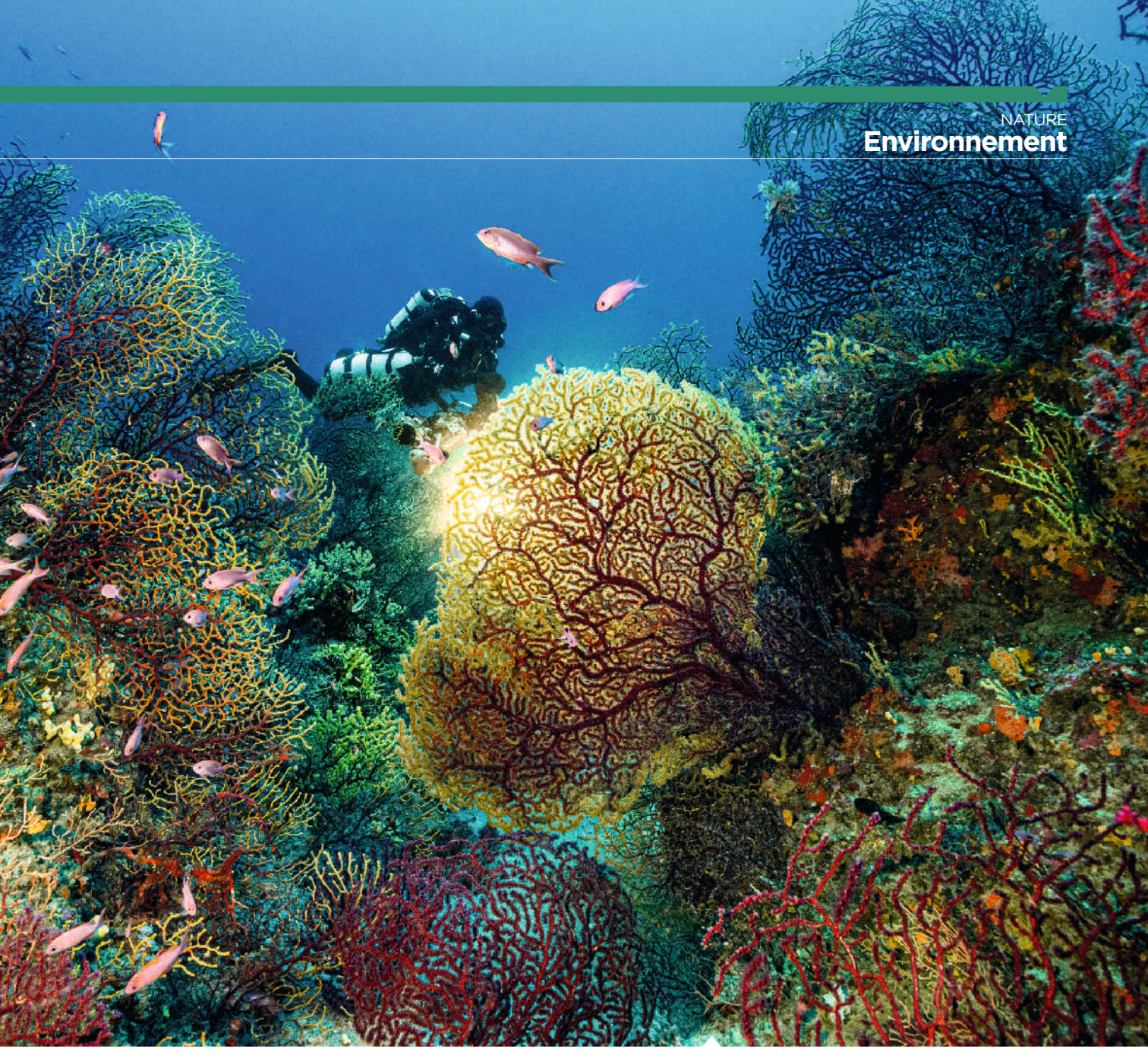
512 millions
de personnes peuplent les rives de la Méditerranée.

-13 %
la réduction de la proportion de stocks de poissons surexploités en dix ans.

1 Les aires marines se multiplient pour préserver la biodiversité

La mer Méditerranée abrite 18 % des espèces marines connues dans le monde dans à peine 0,3 % du volume océanique global ! La seule solution pour préserver cette formidable biodiversité est de multiplier les aires marines protégées. « *Ces zones reconnues d'intérêt exceptionnel par les écologues pour la biodiversité mais aussi pour la reproduction des poissons font l'objet d'une gestion qui préserve les intérêts de chacun, où peut être maintenue une "économie bleue" dans le respect de la nature* », définit Pierre-Yves Hardy, chargé de projet au WWF France du Mediterranean Marine Initiative, un programme qui fédère les actions des services des États, ONG et entreprises pour préserver la biodiversité tout en maintenant les activités humaines.

Dans ces zones, les activités de loisirs et la pêche sont sévèrement réglementées voire interdits. À terme, l'objectif des gestionnaires, qu'ils soient étatiques ou associatifs, est de parvenir à une préservation forte sur 30 % de la surface méditerranéenne. C'est ainsi que l'on sauvera les prédateurs marins dont 41 % sont aujourd'hui menacés de disparition, comme les 168 espèces côtières du bassin. Ces aires protégées nécessitent une gestion locale qui se révèle souvent problématique. Exemple avec le sanctuaire Pelagos, qui forme un triangle entre la France continentale, la Corse et l'Italie. Tous les ans, de huit à 40 rorquals communs et cachalots y meurent percutés par des cargos et des ferrys alors qu'ils viennent se nourrir en Méditerranée occidentale. « *Quand on réduit la vitesse des cargos de 13 à 10 nœuds, les risques de collisions chutent de 80 %*



Le parc national des Calanques fait partie des aires marines protégées, où l'activité humaine est réglementée afin de préserver la biodiversité (ici gorgones pourpres et barbiers communs à quelque 70 mètres de profondeur près du cap Canaille, Bouches-du-Rhône).

à 20 % », explique Denis Ody, responsable du programme du WWF pour la protection des cétacés. La solution peut être entendue pour la marine marchande à condition que les États proposent des compensations économiques, mais elle est beaucoup plus difficilement applicable aux ferrys remplis de passagers qui filent à 26 nœuds. Pour eux, le WWF devra mettre en œuvre une autre solution : des balises en mer qui repèrent les cétacés et répercutent l'information aux pilotes, lesquels peuvent alors momentanément réduire leur vitesse.

2 Le vent et le soleil sont des atouts contre le changement climatique

La Méditerranée ne manque ni de soleil, ni de vent. Aussi, la région a-t-elle de solides arguments pour devenir un acteur essentiel de la lutte contre le changement climatique. Et elle sera la première à profiter des résultats. Car, situé au carrefour des climats tempérés et subtropicaux, le bassin méditerranéen cumule les impacts du réchauffement : sécheresses, canicules, pluies torrentielles, baisse de la disponibilité en eau, incendies... Et jusqu'ici, les États n'ont que peu agi. Mais les choses changent rapidement. Tous les pays du sud du bassin ont établi des programmes ambitieux de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre. La palme revient au Maroc, qui veut produire dès 2030 la moitié de son électricité à partir des éoliennes et des grands parcs photovoltaïques des portes du Sahara, comme Noor à Ouarzazate. Medener, le réseau des agences nationales méditerranéennes de l'énergie, estime dans un rapport de 2020 que la part des énergies renouvelables

ASSAINISSEMENT

Une eau plus propre grâce à la multiplication des stations d'épuration

La plupart des grandes ville de Méditerranée contrôlent leurs rejets. Avec un impact spectaculaire sur la qualité des eaux.

Au mitan des années 1970, un biologiste de l'université de Marseille et plongeur amateur, Nardo Vicente, décide de montrer aux élus du littoral méditerranéen les effets de leur inaction en matière de dépollution. Son film, *Pollutions et nuisances sur le littoral méditerranéen*, est un choc : sols noirs de crasse, absence de vie, eaux boueuses et nauséabondes. Dans les deux décennies suivantes, poussées par l'adoption de la directive européenne sur les eaux usées de 1991, les agglomérations françaises se sont dotées de 250 stations dignes de ce nom, stoppant complètement les rejets des eaux non traitées. *« Aujourd'hui, près de 90 % des eaux côtières de France sont en bon état chimique et écologique »*, assure-t-on à l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Les règlements européens ont imposé le respect de normes sévères pour les teneurs en phosphore, azote et autres polluants comme les pesticides aux nouveaux membres tels que la Croatie ou Chypre.

NARDO VICENTE/INSTITUT PAUL RICARD

En 1980, le biologiste Nardo Vicente montre dans un film les dégâts causés à la faune et à la flore sous-marine par le déversement des eaux d'égoûts de Toulon et des villes avoisinantes dans le cap Sicié (Var).

P. LELONG/IOPR - 2016

Deux récifs artificiels ont été implantés au cap Sicié pour restaurer une bioversité détruite par les eaux usées en parallèle de la mise en service d'une station d'épuration, en 1997.

Les États européens riverains, responsables des plus gros volumes d'eaux usées rejetées, les dépolluent aujourd'hui à 96 %. La région des Balkans et la Turquie traitent 83 % de leurs rejets et les pays du Sud 63 % selon un rapport de l'Agence européenne de l'environnement (AEE) de 2020. Aussi, aujourd'hui, les eaux de baignade en Méditerranée sont en règle générale de bonne qualité et se baigner est bien moins dangereux pour la santé qu'il y a cinquante ans.

La vigilance reste cependant de mise. *« La forte démographie au Sud fait que les besoins en eau et en épuration vont aller croissant*, prévient Nasser Kamel, le secrétaire général de l'Union pour la Méditerranée. *On doit continuer à investir et nous devons notamment approfondir la collaboration entre les États qui doivent car la pollution n'a pas de frontières, comme il est écrit dans la convention de Barcelone ».*

Les pays du Sud rattrapent aujourd'hui leur retard. Ainsi, au Maroc, Tanger s'est doté d'une station au début des années 2000 quand une grande chaîne de villages vacances a fermé son centre à cause d'odeurs nauséabondes.

La plupart des grandes villes du pourtour méditerranéen contrôlent aujourd'hui leurs rejets hormis des États en crise économique (Liban) ou en guerre (Libye, Syrie).

PATRICK BOX / SAIF IMAGES

La mise en place de quotas de pêche draconiens, dans les années 2000, a permis aux stocks de thons rouges de se reconstituer.

va grimper de 5 % de la production totale d'énergie du bassin en 2015 à plus de 25 % en 2040. Et contrairement à ce que l'on pourrait redouter, les grands gisements d'hydrocarbures, qui constituent la rente de l'Algérie et de la Libye, ne freineraient pas cette croissance. Exemple : une centrale solaire de 25 mégawatts est désormais adossée au plus grand centre gazier d'Algérie, Hassi R'mel. Par ailleurs, c'est une véritable coopération énergétique qui s'installe des deux côtés du bassin comme en témoignent les lignes en courant continu entre le Maroc et l'Espagne, la Tunisie et l'Italie.

La lutte contre le réchauffement se déroule aussi en mer, grâce aux posidonies. Un hectare de ces plantes à fleurs marines endémiques de la Méditerranée stocke 1500 tonnes de carbone : c'est cinq fois plus que la forêt tropicale pour une surface équivalente. En France, il est interdit depuis 2020 de jeter l'ancre dans ces herbiers qui servent aussi de nurseries pour les poissons. Un premier pas pour freiner leur diminution, qui a atteint 30 % ces cinquante dernières années. Pour aller plus loin, les prairies pourraient rentrer dans le marché du carbone. Afin de compenser leurs émissions en excès, les entreprises seraient ainsi invitées à financer les replantations. Cela commence à se faire en France au parc des Calanques, à Marseille, et en Espagne, en Andalousie .

MAITÉ BALDIWWF

« En réduisant la vitesse des cargos de 13 à 10 nœuds, le risque de collision avec des cétacés chute de 80 à 20 % »

Denis Ody, responsable du programme pour la protection des cétacés au Fonds mondial pour la nature (WWF)

3 La surpêche est en diminution

Le progrès peut sembler modeste mais il est sans précédent : en dix ans, la part de stocks de poissons commerciaux surexploités est passée de 88 % à 75 %, affirme dans son dernier rapport la Commission générale des pêches en Méditerranée (CGPM), qui dépend de la FAO — l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Sur les 18 espèces étudiées, six ont même vu leur biomasse augmenter. Prenons l'histoire récente du thon rouge, une espèce très rentable exploitée par des senneurs industriels. Les populations étaient au bord de l'effondrement au début des années 2000, mais des quotas draconiens

DÉSALINISATION

À Gaza, le rêve de rendre potable l'eau de mer

Les fondations sont terminées, le gros œuvre est en cours. L'usine de désalinisation de la bande de Gaza (administrée par l'Autorité palestinienne) sort de terre. Envisagé à la fin des années 2010, le projet a longtemps été freiné par les soubresauts du conflit israélo-palestinien. Il répond à une urgence. 95 % de l'eau à disposition des Gazaouis n'est pas potable. La nappe phréatique dans laquelle elle est puisée est polluée et surexploitée. « *Cela menace l'état des ressources souterraines d'Israël, ce qui l'a obligé à s'engager à ne pas attaquer une usine de 350 millions d'euros payée grâce à des donateurs comme l'Union européenne, l'Espagne, la France, etc.* », assure un proche du dossier.
La désalinisation est une technique onéreuse réservée aux pays riches et il a fallu une situation humanitaire désespérée pour qu'une usine utilisant la technologie de l'osmose inverse soit accessible à des populations pauvres. À terme, l'usine traitera 100 millions de mètres cubes d'eau, soit de quoi satisfaire les besoins de la population. 15 % de l'énergie nécessaire proviendront d'un parc photovoltaïque.
L'eau de la Méditerranée est déjà désalinisée en d'autres lieux. L'Espagne a ainsi été le premier pays à s'équiper d'une usine dans les années 2000 pour irriguer sa production de légumes et fruits sous serre de la région d'Almeria, un secteur économique essentiel pour le pays. Le Maghreb s'organise également. Le 22 mars, le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye et la Mauritanie ont signé une convention pour le développement de la désalinisation (et la réutilisation des eaux usées). L'Algérie fait figure de leader avec ses 11 stations produisant 560 millions de m^3 par an. Le pays vise les 2 milliards de mètres cubes en 2024 pour sauver une agriculture touchée par des sécheresses récurrentes.

(inférieurs à 8000 tonnes en 2008 alors que les prises avaient dépassé les 50 000 tonnes) ont permis une remontée spectaculaire des effectifs si bien que les pêcheurs pourront prélever à nouveau 32 000 tonnes par an à partir de 2021.
Pour arriver à ces résultats, la CGPM gère, avec l'avis des pêcheurs et des États concernés, des zones de restriction de pêche afin de protéger les aires de reproduction et de concentration de juvéniles. C'est par exemple le cas dans la fosse marine de Jabuka/Pomo, située en mer Adriatique entre la Croatie et l'Italie, où viennent se reproduire le merlu, la langoustine et la crevette rose du large. Les flottilles sont réduites, le nombre de jours et d'heures de pêche encadré, la taille des mailles des filets réglementée, ainsi que les quantités pêchées par bateau et par pays. L'espèce la plus menacée actuellement est le merlu, notamment dans le golfe de Gascogne. L'arrêt du chalutage sur cette zone ainsi qu'en Espagne va être imposé cette année jusqu'à ce que les stocks remontent.

4 La lutte globale contre la pollution par les plastiques a commencé

Sous l'égide des chercheurs de l'université de Sienne (Italie), le projet Plastic Busters, doté de 5 millions d'euros par l'UE, entend lutter contre ces 600 000 tonnes de déchets rejetés en mer tous les ans qui flottent entre deux eaux ou souillent les plages. « *Le programme vise d'abord à mieux connaître l'impact de cette pollution sur la mer et ses habitants, à déterminer les lieux de concentration des déchets*, explique Cristina Fossi, en charge du programme. *Mais aussi à donner les bases d'une politique de prévention aux États.* » Lancé en 2018, Plastic Busters espère fournir en 2022 une base de données sur l'état des lieux de la pollution : zones affectées, caractérisation des déchets, sources.
Car la deuxième phase consiste à mettre sur pied des politiques de prévention. Aujourd'hui, l'usage du plastique est bien plus important au Nord qu'au Sud et donc les rejets proviennent en majorité des pays européens. La France ne recycle que 25 % de ces matériaux. Au Sud, le taux de recyclage est encore plus faible. Plastic Busters pilote par ailleurs des actions de sensibilisation en incitant par exemple au bannissement des objets à usage unique dans les bars de plage ou au nettoyage citoyen des lieux de baignade, opérations qui se déroulent dans une quinzaine de pays. L'arrêt des rejets à la mer reste la seule option possible en attendant d'hypothétiques solutions de nettoyage des eaux. ■

PLASTICBUSTERS-UNISI

Le projet Plastic Busters vise à constituer une base de données sur l'état des lieux de la pollution aux microplastiques en Méditerranée (ici échantillons prélevés dans l'archipel Toscan).

BRIGITTE MAISONNEUVE

« Lactuca serriola », l'espèce sauvage la plus proche de la laitue cultivée, pousse notamment dans les friches.

L'odyssée de la laitue domestique

Des chercheurs ont séquencé le génome de centaines de variétés de laitues dans le monde. Une recherche indispensable pour développer de nouvelles salades résistantes à certains pathogènes.

À L'ORIGINE, CE N'ÉTAIT QU'UNE PLANTE de terrain vague, aux feuilles épineuses et amères. Mais elle fut l'objet d'une domestication millénaire, source de transformations majeures, jusqu'à devenir *Lactuca sativa*, l'appétissante laitue qu'on trouve aujourd'hui sur les étals du maraîcher. Cette aventure vient d'être décrite au niveau génétique grâce au séquençage de 445 variétés de laitues sauvages et cultivées dans le monde. Les chercheurs de l'université de Wageningue, aux Pays-Bas, et du Centre de séquençage BGI de Shenzhen, en Chine, ont ainsi identifié dans le Caucase un type de *Lactuca serriola* comme la forme sauvage la plus proche des laitues aujourd'hui cultivées.

Ils montrent qu'une première mutation majeure est intervenue il y a environ 6000 ans, qui limite l'ouverture du capitule portant les graines avec aigrettes (comme celui du pissenlit) et la dispersion de celles-ci par le vent. « *Cette caractéristique propre à toutes les formes cultivées facilite la récolte des graines* », précise Brigitte Maisonneuve, chercheuse retraitée de l'Institut national de la recherche agronomique (Inrae), spécialiste du sujet. Une première transformation attestée par les plus anciennes images connues de laitue cultivée, peintes 2500 ans avant notre ère dans des tombes en Égypte. C'est ensuite en Grèce vers 500 avant J.-C., et bientôt dans tout l'Empire romain, qu'apparaît une variété à feuilles entières et regroupées à la base, la laitue romaine, ancêtre de toutes les laitues consommées pour leurs feuilles. « *C'est le deuxième événement majeur de la domestication de la plante*, confirme Brigitte Maisonneuve, *où les feuilles restent à la base en formant une "pomme"* » Les étapes suivantes de préfloraison étant retardées, la plante devient un légume dont les feuilles serrées « en pomme », riches en vitamines et autres nutriments, se récoltent d'un bloc.

BIOSPHOTO

« Lactuca sativa », la laitue cultivée, se caractérise par ses feuilles serrées formant une « pomme ».

Des sélections récentes pour plus de croquant

Ce n'est qu'au cours du deuxième millénaire de notre ère que sont sélectionnées en Europe des laitues au cœur blanc car non exposé à la lumière, telles que la laitue beurre, aux feuilles souples, ou la batavia, aux feuilles plus craquantes. « *Le type extrême est l'iceberg, créée aux États-Unis dont seul le cœur compact et blanc, moins nutritif, est récolté* », souligne la spécialiste. Ce genre de salade, beaucoup plus répandu dans le reste du monde qu'en France, doit son succès à son croquant, mais aussi à sa facilité de transport et de préparation pour la restauration rapide.

Outre leur intérêt théorique, ces recherches sont d'importance pour les semenciers en demande de nouvelles variétés résistantes à certains pathogènes, tels que le mildiou. Des pathogènes appelés à perdurer, d'autant plus que certains trouvent refuge dans la laitue sauvage, *L. serriola*, cette plante anodine que l'on retrouve à proximité des cultures... et qui recèle d'autres gènes de résistance convoités par les chercheurs. ■

Pierre Kaldy

La périlleuse migration des amphibiens

Indispensables à l'équilibre des écosystèmes, notamment en éliminant nombre de moustiques, les crapauds, grenouilles et autres tritons sont menacés par l'urbanisation et l'artificialisation des sols. Des solutions simples sont mises en œuvre pour les aider à survivre dans un monde hostile.

Le 27 avril a sonné la fin de saison pour le « crapaudrome » de Tournavaux, un village niché dans le parc naturel régional des Ardennes. Depuis début février, une douzaine d'habitants du village se sont relayés chaque matin pour aider crapauds, grenouilles, tritons et salamandres à traverser la route qui les sépare des mares vers lesquelles ils se dirigent instinctivement en période de reproduction. « *Ce sont les habitants du village qui nous ont alertés*, raconte Coralie Thuillier, chargée de mission zones humides pour le parc naturel régional. *Ils constataient depuis plusieurs années qu'un grand nombre de crapauds étaient écrasés par les voitures au printemps.* » Avec l'aide des élèves du lycée agricole du Balcon des Ardennes, à Saint-Laurent, les responsables du parc ont déployé en 2020 un dispositif temporaire : un filet de 300 mètres de long et des seaux enterrés tous les dix mètres. Objectif, contenir le flux des animaux pour que les bénévoles puissent ensuite déposer les animaux prisonniers des seaux de l'autre côté de la route, en toute sécurité. Couronnée de succès, l'expérience a été reconduite cette année. Mais le bilan est plus mitigé, avec moitié moins d'amphibiens recueillis que l'an passé (433 contre 875). En cause, selon Coralie Thuillier, « *des périodes très froides, peu propices à la sortie des crapauds de leur lieu d'hibernation* ». La commune de Lamballe (Côtes-d'Armor) a quant à elle pris une mesure plus radicale : pour la deuxième année consécutive, la route départementale 768 qui dessert les landes de la Poterie a été fermée de décembre à mars, et une déviation a été mise en place pour les véhicules. Sur cet ancien territoire de potiers, les prélèvements d'argile ont creusé des centaines de trous, qui sont aujourd'hui autant de mares hospitalières pour 11 espèces protégées de grenouilles, crapauds, tritons et salamandres.

41 %
des 8100 espèces
d'amphibiens répertoriées dans le monde sont en voie d'extinction.

Ces efforts ne sont pas des initiatives isolées, ils sont au contraire au service d'une cause plus grande : sauver ces animaux de mauvaise réputation est devenu une urgence. Selon l'édition 2021 de la Liste rouge mondiale, 41 % des 8100 espèces d'amphibiens répertoriées sont en voie d'extinction au niveau mondial. En France, cette menace concerne 23 % de ces populations, comme l'a annoncé le 3 mars l'Office français de la biodiversité, le Muséum national d'histoire naturelle et l'Union internationale pour la conservation de la nature.

De grands amateurs de moustiques

Or, ces grands discrets sont un maillon essentiel de la chaîne alimentaire. Adultes, ils se nourrissent de moustiques, fourmis et autres insectes, mais aussi de cloportes, de limaces et de vers. Ils sont par ailleurs la proie des hérons, chouettes, corneilles, putois et reptiles. Quant aux larves et têtards, ils nourrissent notamment les poissons et les larves de libellules, grandes prédatrices de moustiques. « *Sans amphibiens, nous serions confrontés à une aggravation de la pullulation grandissante de plusieurs espèces de moustiques et une sous-population des espèces*

PRATIQUE

Que faire pour les aider dans son jardin ?

La bonne solution est de recréer des taillis et des petits plans d'eau temporaires aux pentes douces. Ils doivent se remplir d'eau en période hivernale et être asséchés, naturellement ou intentionnellement, en fin d'été, évitant ainsi leur envasement progressif et la prolifération de prédateurs. Il est ainsi possible d'aménager une légère dépression naturelle en obstruant ses points d'évacuation par des rondins ; ou de la créer dans les prairies marécageuses ou près de cours d'eau. De simples « flaques » d'eau ensoleillées de 0,5 à 20 m² situées à moins de 500 mètres d'une haie arbustive ou d'un bois feront le bonheur des amphibiens. Rappellons qu'il est interdit d'aller prélever soi-même des batraciens dans d'autres mares. Enfin, des tas de pierres, de bois, de souches en décomposition abriteront les amphibiens pendant les périodes de sécheresse prolongée. Dernier conseil : limiter l'utilisation de produits antilimaces qui les empoisonnent.

PHOTOS : DMITRILOVETSKY/AP/SIPA – NATURIMAGES – C.RUOSO / BIOSPHOTO

La migration des crapauds vers les mares pour se reproduire les oblige parfois à parcourir plusieurs kilomètres. Un périple semé d'obstacles, comme les routes. Des mesures de protection sont mises en place : fermeture temporaire d'axes (à gauche) ; création de crapauducs, conduits souterrains aménagés qui permettent aux amphibiens de passer sans danger d'un côté à l'autre d'une route (ci-contre en Alsace).

dépendantes », prévient Grégory Patek, chargé d'études au parc naturel régional de la Haute Vallée de Chevreuse. Indispensables à l'équilibre des écosystèmes, les amphibiens ont pour handicap de *« vivre, pour la grande majorité des espèces, dans deux milieux. Adultes, ils ont pour habitat des sous-bois, et pour se reproduire reviennent à l'eau, étangs ou mares »*, explique Claude Miaud, directeur du laboratoire biogéographie et écologie des vertébrés au sein du laboratoire CEFE (Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive) à Montpellier. Les œufs pondus dans l'eau donnent des larves (pour les tritons et salamandres) ou des têtards (grenouilles et crapauds) qui vont bientôt se métamorphoser, la respiration pulmonaire remplaçant celle avec des branchies. L'été venu, ils quittent la mare pour rejoindre leur lieu de vie terrestre. Une fois leur maturité sexuelle atteinte, entre 1 et 3 ans, le cycle reprend. Sont-ils fidèles alors à leur mare de naissance ? *« Cela dépend des espèces,* indique Claude Miaud. *S'il n'y a qu'un seul plan d'eau, ils n'auront pas le choix. Mais certains amphibiens comme le crapaud commun sont colonisateurs et peuvent se déplacer sur plus de 4 kilomètres ! »* Dans les milieux méditerranéens, de nombreux sites aquatiques sont transitoires et dépendent de la pluie ou du niveau de la nappe phréatique. Les espèces vont devoir se déplacer, à la recherche d'un

endroit accessible. « *Lorsqu'il n'y a pas de milieu disponible, il n'y a pas de reproduction. Mais les amphibiens vivent longtemps, jusqu'à 30 ans environ pour certains crapauds et 5 à 6 ans pour les tritons. Au cours de leur vie, ils peuvent se reproduire de une à plus de dix fois* », poursuit le scientifique.

Guidés par les appels sexuels d'autres espèces…

La migration prénuptiale de fin d'hiver et de printemps vers les mares se révèle être une étape cruciale dans la vie des amphibiens. Durant quelques semaines, des vagues d'individus entreprennent le grand voyage si les conditions météorologiques sont favorables, en matière de température (autour de 4 °C et plus) et d'humidité (plus de 60 % d'humidité pour ne pas se dessécher sur le chemin). Ils s'orientent en utilisant des informations acoustiques, magnétiques, olfactives et visuelles. Chez les salamandres et les tritons, l'odeur de la mare d'origine est mémorisée. Et certaines espèces de tritons se guident sur les chants d'appel sexuel d'autres espèces d'amphibiens vivant dans leur environnement pour retrouver « leur » mare. Mais les transformations des paysages par l'activité humaine érigent un nombre incalculable d'obstacles sur leur route : murs, bordures de sécurité, caniveaux profonds et surtout routes meurtrières, qui menacent les amphibiens. Les crapauds communs sont particulièrement décimés lors de ce périple. Le mâle, plus petit que la femelle, va tenter de s'accoupler sur le chemin vers la mare. Dans l'attente du moment propice, il s'installe sur le dos de la femelle, d'autant plus ralentie dans sa pérégrination. Ce mode de reproduction explique l'effondrement des populations d'amphibiens : dans certains endroits du territoire français, la mortalité sur les routes peut atteindre 90 %.

À cela s'ajoute l'agriculture intensive, qui comble et draine les milieux humides, ainsi que l'urbanisation qui enferme les cours d'eau dans des buses de béton. « *Avant la Révolution, le paysage était constellé de points d'eau, dont beaucoup ont été supprimés par la mécanisation agricole,* remarque Grégory Patek. *Et on estime que 30 à 50 % des mares ont disparu en France depuis 50 ans* . » Nombre de petits boisements sont peu à peu remplacés par des lotissements. « *Le cumul de ces petits boisements détruits représente une surface importante en France et dans tous les pays européens,* analyse Claude Miaud. *Ce qui contribue à la diminution des populations et même à la disparition de certaines espèces.* » Enfin, la fragmentation des habitats peut entraîner un isolement des populations et un appauvrissement génétique.

Si la situation mondiale est inquiétante, il est encore possible d'agir. Ainsi, lorsque le crapaudrome de Gambais (Yvelines) a été installé, en 2009, les effectifs d'amphibiens étaient très bas. Mais l'énergie des bénévoles permet désormais de sauver chaque année 1800 individus, dont près de 20 % de tritons palmés. « *En quelques années, ce dispositif a permis de décupler la population,* souligne Grégory Patek. *Il faut plusieurs années pour restaurer les peuplements, mais c'est la multiplication d'initiatives locales qui peut encore modifier la tendance.* » ■

Sylvie Rouat @srouat1

JAMIE HALL / FLPA / BIOSPHOTO

Des « écoponts » au-dessus des autoroutes ont été aménagés à l'emplacement d'anciens couloirs de migration pour la grande faune (ici au-dessus d'une autouroute près de Londres, Royaume-Uni).

AMÉNAGEMENTS

Des couloirs de survie même pour les grands animaux

Sous les autoroutes, voies nationales et voies ferrées, des « écotunnels » assurent la continuité des déplacements de la petite faune terrestre. Les « crapauducs », destinés principalement aux amphibiens, disposent de conduits souterrains pour les migrations aller et retour. Des caniveaux profonds dans lesquels tombent les animaux les empêchent d'accéder à la route, tout en les guidant vers les conduits régulièrement disposés. Des enrichissements sonores (émission de chants d'amphibiens) sont testés en vue d'améliorer les mouvements des animaux. Pour la grande faune, des « écoponts » protégés sont aménagés au-dessus des autoroutes à l'emplacement d'anciens couloirs naturels de migration. Le plus grand d'entre eux a été inauguré en décembre à San Antonio, aux États-Unis. Ce passage de 50 mètres de large relie deux parties d'un parc naturel jusque-là séparées par une autoroute.

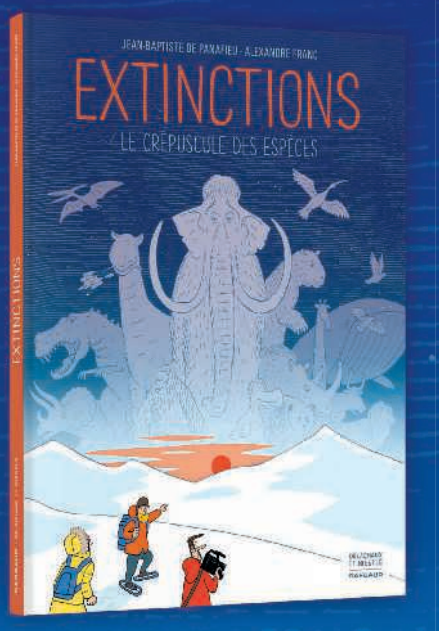
« Il faut plusieurs années pour restaurer les peuplements. Mais la multiplication des initiatives locales peut modifier la tendance »

Grégory Patek, chargé d'études environnementales au parc naturel régional de la Haute Vallée de Chevreuse (Yvelines)

JEAN-BAPTISTE DE PANAFIEU - ALEXANDRE FRANC

EXTINCTIONS

LE CRÉPUSCULE DES ESPÈCES



Du *Great Dying*, il y a 250 millions d'années, aux nombreuses disparitions d'espèces actuelles, découvrez l'un des phénomènes les plus effrayants de notre planète, les extinctions massives !

Un docu-fiction fascinant écrit par Jean-Baptiste de Panafieu, agrégé en sciences naturelles et docteur en océanologie biologique, et mis en images par Alexandre Franc.

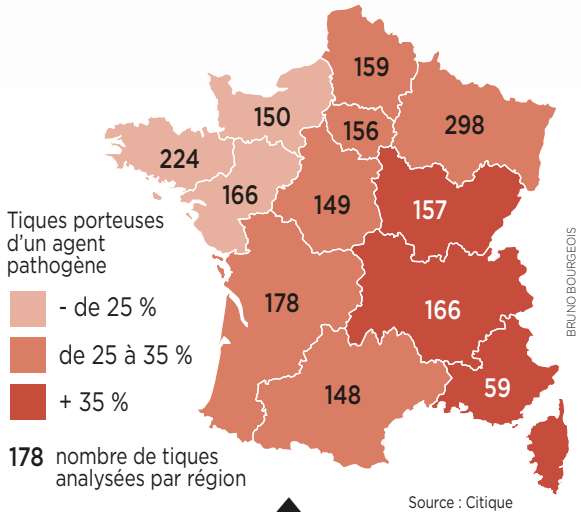
Au rayon bande dessinée

DELACHAUX ET NIESTLÉ
DARGAUD

La progression des tiques en France a été cartographiée

Cet acarien est un réservoir d'agents pathogènes, et notamment de la bactérie responsable de la maladie de Lyme. Un programme de recherche tente de comprendre sa répartition géographique pour avertir les populations.

GARE AU GAZON ! C'est l'avertissement que lance en ce printemps 2021 l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae). Car la tique n'est pas seulement un hôte des bois. Elle vit aussi près des maisons, sans qu'on sache très bien pourquoi ni comment. Ainsi, en 2020, près de la moitié des piqûres signalées par des citoyens participant au programme de recherche participative français Citique ont eu lieu dans les jardins. « *Depuis 2017, nous sollicitons les citoyens pour qu'ils signalent les circonstances exactes des piqûres de tiques grâce à l'application mobile Signalement Tique, mais aussi pour qu'ils refrènent leur envie d'écraser l'animal et nous l'envoient plutôt par courrier à notre laboratoire* », explique Pascale Frey-Klett, chercheuse à l'Inrae Nancy. Plus de 56 000 piqûres ont ainsi été signalées et plus de 50 000 acariens ont rejoint la « tiquothèque » du laboratoire de Nancy.



Cette carte est une première étape avant une « météo des tiques » permettant par exemple de prévenir les promeneurs du risque.

De grandes différences entre les régions

Ce « sondage » a révélé que 15 % des tiques collectées étaient porteuses de la bactérie *Borrelia burgdorferi sensu lato*, responsable de la maladie de Lyme, et 14 % d'une autre bactérie ou d'un parasite potentiellement pathogène pour l'humain. « *Car cet animal est un vrai réservoir à agents infectieux*, déplore Pascale Frey-Klett. *Nous recherchons sur les tiques piqueuses qui nous sont envoyées par les citoyens une quarantaine de bactéries et parasites* », poursuit-elle. Le « contenu en agents infectieux » de 2500 spécimens de la tiquothèque fait aujourd'hui l'objet d'une analyse plus approfondie. La carte issue

ARACHNOLOGIE

Une assoiffée de sang, peu friande d'humain

Plus proche des araignées que des insectes, cet acarien se nourrit exclusivement de sang. Au printemps, les œufs éclosent et deviennent des larves qui doivent effectuer un premier repas de sang auprès d'un petit mammifère, d'un reptile ou d'un oiseau.
La larve grimpe en haut d'herbes courtes pour profiter du frôlement d'un petit animal. Après ce premier repas, elle se transforme en nymphe, et peut alors grimper sur des herbes plus hautes et s'accrocher à des animaux un peu plus gros pour faire son deuxième repas de sang. Seule la femelle fera ce dernier pour pouvoir pondre, puisque les mâles, eux, meurent après l'accouplement. Au cours de ce cycle, les humains sont considérés comme des hôtes « accessoires », que les tiques choisissent surtout par opportunisme.

G. EDWARDES/NATUREPL/EBPHOTO

Les ixodida ou tiques sont présentes dans les bois mais aussi aux abords des habitations. Près de la moitié des piqûres recensées sont survenues dans des jardins.

de ces travaux révèle de grandes différences entre régions, la Bourgogne-Franche-Comté culminant à 47 % de tiques infectées contre 18 % en Bretagne *(carte ci-contre)*. Un premier pas qui pourrait conduire à une carte dynamique, une véritable « météo des tiques » à l'instar de ce qui existe en Suisse pour informer les promeneurs de l'activité de ces acariens. Cet outil serait précieux car les tiques posent aujourd'hui un véritable risque sanitaire. Selon Santé Publique France, plus de 50 000 cas de maladie de Lyme ont été répertoriés en France en 2019. 95 % des infections sont provoquées par la bactérie *Borrelia* transportée par la tique. La piqûre peut alors prendre la forme d'un halo rouge sur la peau qui s'étend en cercle, appelé érythème migrant. Mais l'acarien est également le vecteur d'autres maladies bactériennes comme les rickettsioses ou la tularémie, des affections virales (encéphalites à tique, fièvres hémorragiques à tique) et parasitaires (la piroplasmose canine). Repérer la présence d'un érythème migrant est crucial car les autres symptômes qui peuvent apparaître après la piqûre (céphalées, douleurs musculaires, fièvres, fatigue) ne sont pas spécifiques de la maladie de Lyme. Rappelons que pour réduire le risque de transmission, il faut toujours utiliser un tire-tique pour retirer l'animal en douceur.

Dans ce contexte, la mise en évidence de piqûres de tiques dans les jardins n'est pas une bonne nouvelle car on est souvent moins attentif aux risques qui existent dans son environnement familier. Mais quelles sont les conditions favorables pour la tique ? Les potagers ? les massifs fleuris ? la proximité d'un bois ? Pour répondre à ces interrogations, le laboratoire fait appel à des citoyens volontaires pour investiguer 200 jardins privés ou collectifs des environs de Nancy. ■

Loïc Chauveau @Loïc_Chauveau

A. BILLET

La Recherche Climat

PAR CÉLINE GUIVARCH* CHRONIQUE COÉCRITE AVEC CHRISTOPHE CASSOU**

Des gaz à effet de serre dans nos assiettes

En combinant des données satellitaires avec des inventaires nationaux d'émissions et des analyses fines le long des chaînes d'approvisionnement du « sol à l'assiette », nous sommes maintenant capables de quantifier les émissions de gaz à effet de serre associées au système alimentaire mondial mais aussi à chaque type d'aliment. Fabrication des intrants, production des denrées alimentaires, transformation, emballage, transport et gestion des déchets se déclinent désormais en tonnes de CO_2, de méthane, de gaz fluorés et de protoxyde d'azote en fonction de nos menus.

Les émissions du système alimentaire s'élèvent à 18 milliards de tonnes d'équivalent CO_2 par an, soit un tiers du total des émissions mondiales. Les étapes de production dans leur ensemble représentent 39 % des émissions. Le second poste, avec environ un tiers des émissions, provient de la déforestation pour accroître les surfaces agricoles et de la dégradation des sols organiques. Véritable délocalisation du carbone, ces émissions ont principalement lieu dans des pays en développement, avec une part importante associée aux exportations vers les pays riches. À chaque étape du système alimentaire, des leviers peuvent permettre de diminuer les émissions : par exemple, réduire les distances parcourues et les emballages, éviter les pertes et les gaspillages. Mais n'oublions pas que l'empreinte carbone de notre assiette dépend avant tout des ingrédients de nos menus et de leurs conditions de production, et moins de leur provenance. Par exemple, l'empreinte carbone d'un gramme de protéines issues de viande de ruminant représente 2 à 10 fois (selon les modes d'élevage) celle de protéines d'autre origine animale (poisson, viande blanche, œuf), et 5 à 30 fois celle de protéines issues de légumineuses. Vous reprendrez bien un peu de lentilles ? ■

> « L'empreinte carbone de nos repas dépend avant tout des ingrédients et de leurs conditions de production »

* Directrice de recherche à l'École des Ponts-Paris-Tech, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3, elle est par ailleurs lauréate du prestigieux prix Irène Joliot-Curie de la jeune femme scientifique.

** Directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.

DIABÈTE DE TYPE 1 (DT1) Cette affection auto-immune est caractérisée par une insuffisance voire une absence de sécrétion d'insuline par le pancréas, qui apparaît souvent dans l'enfance.

DIABÈTE DE TYPE 2 (DT2) Caractérisé par une mauvaise utilisation de l'insuline par les cellules de l'organisme, il apparaît à l'âge adulte. Il est souvent associé à une obésité.

PANCRÉAS Glande qui sécrète des enzymes digestives et des hormones dont l'insuline hypoglycémiante et le glucagon hyperglycémiant.

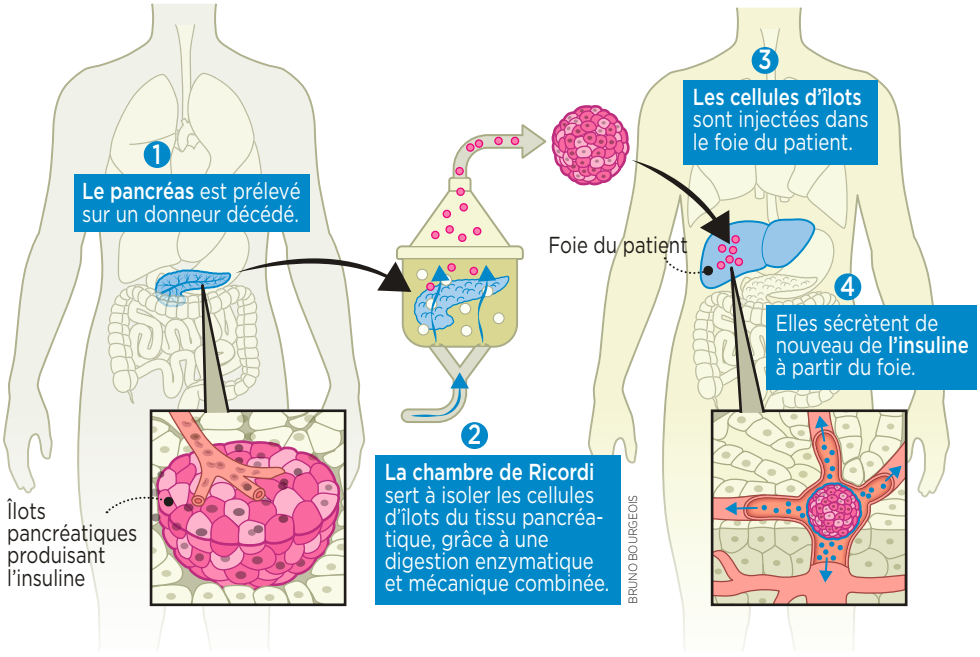
Diabète : une nouvelle thérapie pour une nouvelle vie

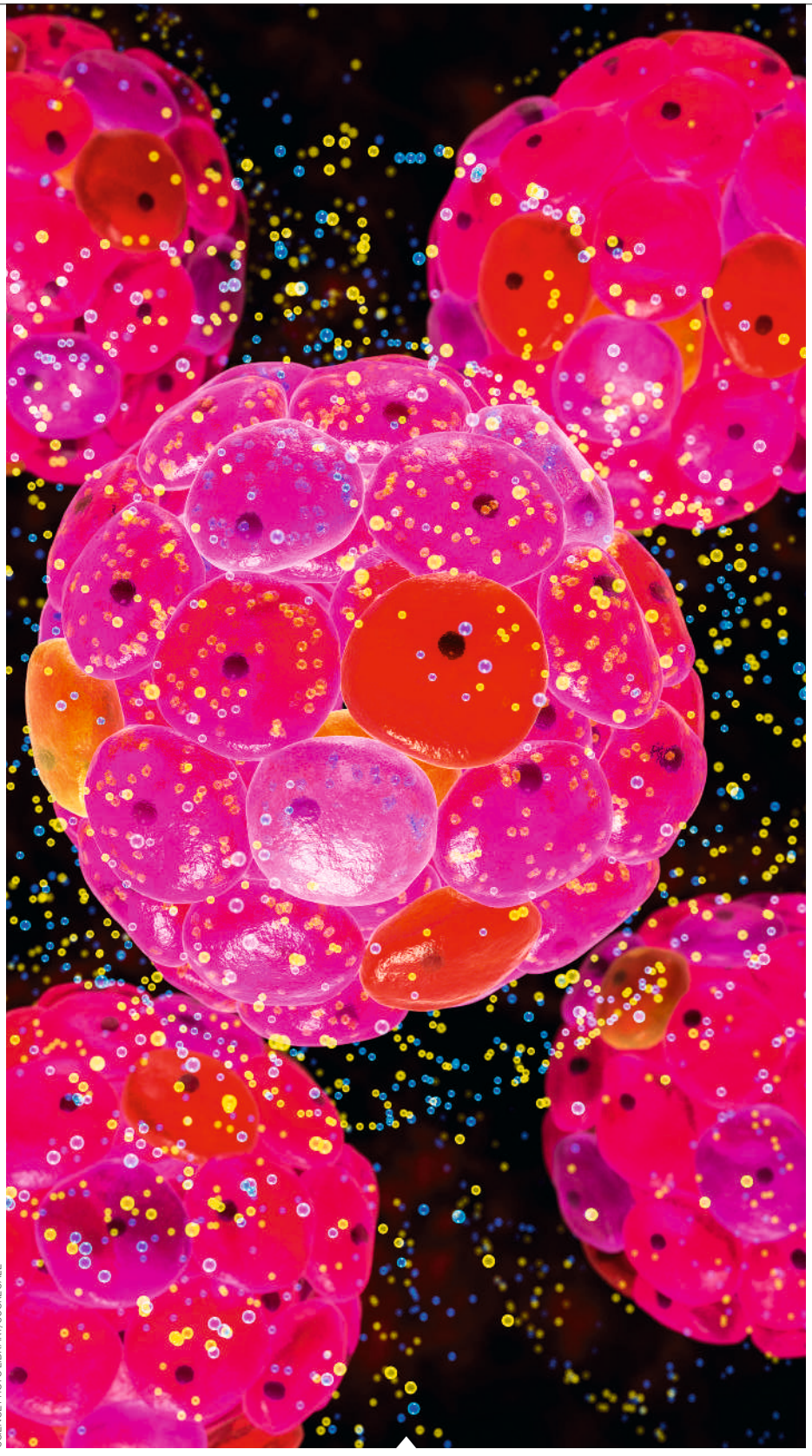
Grâce à la greffe d'îlots pancréatiques, désormais remboursée par l'assurance-maladie en France, les malades atteints de diabète de type 1 peuvent enfin espérer vivre normalement.

Par Sylvie Riou-Milliot

VOICI UNE BELLE MANIÈRE de fêter le centenaire de la découverte de l'insuline, en 1921 par le Canadien Frederick Banting *(lire l'encadré p. 60)* : les diabétiques français les plus gravement atteints vont pouvoir bénéficier d'une thérapie inédite qui leur promet une nouvelle vie *(lire témoignages p. 60)*. Il s'agit de leur greffer des « îlots pancréatiques » (ou îlots de Langerhans), ces cellules normalement chargées de la production d'insuline dans le pancréas mais qui sont détruites chez les diabétiques du type 1 (10 % des cas, *voir le lexique ci-dessus*). Les tentatives pionnières de ces greffes remontent aux années 1970. Depuis le début des années 2000, elles étaient pratiquées dans le cadre de la recherche et réservées uniquement aux cas sévères de diabète de type 1, soit chez moins de 100

Comment est réalisée la transplantation





SCIENCE PHOTO LIBRARY/SUCRE SALÉ

Les îlots de Langerhans (en rose) sont des cellules du pancréas qui produisent l'insuline, hormone de régulation de la glycémie. Leur destruction, par une réaction auto-immune, est à l'origine du diabète de type 1 (illustration).

patients en France. Mais la nouvelle est tombée le 5 mars : l'assurance-maladie va désormais prendre en charge leur coût. Un changement qui devrait permettre à la France de rattraper son retard. « *À ce jour, l'activité reste marginale dans l'Hexagone en comparaison avec les autres pays européens* », rapporte le Pr Lionel Badet, chef du service d'urologie, chirurgie de la transplantation à l'hôpital Édouard-Herriot à Lyon et président du réseau national Trepid qui regroupe depuis peu la plupart des équipes nationales impliquées dans cette approche de thérapie cellulaire.

Un rêve de diabétologue et de diabétique qui se réalise

Comment les médecins procèdent-ils ? En réalisant une manipulation astucieuse qui permet de transformer un foie en pancréas ! Mise au point dans les années 2000 selon le protocole dit d'Edmonton (Alberta, Canada), en référence à l'un des centres les plus en pointe au monde, cette approche vise à restaurer la sécrétion d'insuline. Il s'agit d'injecter directement dans la circulation veineuse du foie — l'organe cible de l'insuline qui présente l'avantage d'être fortement vascularisé — des cellules pancréatiques saines provenant d'un donneur, et capables de secréter la précieuse hormone *(voir l'infographie p. 58)*. En pratique, deux à trois injections d'îlots, à quelques mois d'intervalle, sont nécessaires. « *C'est un peu le rêve du diabétologue et du diabétique qui se réalise* », résumait lors du dernier congrès de la Société francophone du diabète, en mars, Pierre Yves Benhamou, professeur au CHU Grenoble-Alpes, l'un des chercheurs français impliqués de longue date dans cette aventure.

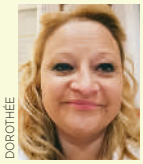
Rappelons que l'insuline (du latin *insula* : « île ») est la seule hor-

TÉMOIGNAGES

Paroles de patients, déjà greffés ou en attente

Dorothée, 44 ans

« Pour moi ce sera une bulle d'air »


DOROTHÉE

« Je suis diabétique depuis l'âge de 3 ans. Toute ma vie on m'a dit *"tu verras, un jour, il y aura un traitement et tu ne te piqueras plus"*. Aujourd'hui, après plus de quarante ans de diabète, je me pique encore. Alors, pour les années à venir, j'aimerais pouvoir vivre normalement. Je me suis renseignée, ai obtenu les réponses à mes questions et me sens motivée. J'ai confiance dans l'équipe soignante et estime que le jeu en vaut la chandelle, même avec sa part d'inconnu. Pour moi, ça sera une bulle d'air, pour souffler enfin, un peu. »

Alain, 63 ans

« C'est une deuxième vie »

ALAIN

« En 1988, à 30 ans, je suis devenu très brutalement diabétique. Ma maladie a été d'emblée sévère et instable, avec de nombreuses hypoglycémies et comas malgré les pompes puis les capteurs que j'ai été parmi les premiers à tester. Avec le temps, je n'en pouvais plus, tout devenait dangereux. Pendant vingt-cinq ans, j'ai eu le sentiment d'avoir subi ma vie. Mais tout a changé en 2014 après que j'ai été greffé à Lille. Une deuxième vie a vraiment commencé pour moi. J'ai eu la chance d'être accompagné et soutenu, sept ans après je suis toujours là. »

Béatrice, 57 ans

« Je pense aux donneurs »

BÉATRICE

« Diabétique depuis l'âge de 11 ans, je me suis toujours battue pour qu'on m'admette comme malade. En 2015, je lis un article dans le journal de l'Association française des diabétiques sur ce traitement, je me suis dit que c'était ce qu'il me fallait. J'étais en bout de course, épuisée.
J'ai été greffée en 2018 et suis devenue insulino-indépendante. Le parcours n'a pas été facile mais cette greffe c'est un véritable cadeau. Depuis, pas une journée ne s'écoule sans que je pense à mes donneurs, je les appelle mes petits anges. »

mone hypoglycémiante produite par l'organisme, c'est-à-dire dont l'action est de faire baisser le taux de sucre dans le sang (glycémie), afin de le maintenir autour de 1 g par litre. Une fonction qui s'exerce en finesse puisque cette sécrétion hormonale a la particularité de s'auto-adapter en permanence à la glycémie, qui s'élève par exemple après chaque repas, ou qui diminue après un effort physique. Les patients atteints de diabète de type 1 doivent donc régulièrement s'injecter de l'insuline par voie sous-cutanée au moyen de seringues, de « stylos » ou de pompes qui peuvent être reliées depuis peu à des capteurs de glucose (*lire l'encadré p. 61*). Mais parfois, il est impossible d'équilibrer le diabète, la glycémie faisant un perpétuel yo-yo. Résultat : des malaises fréquents avec, à court terme, des risques de coma, et, à long terme, des complications nombreuses et graves (cécité, maladies cardio-vasculaires, insuffisance rénale...).

PHARMACOLOGIE

La mise au point d'un comprimé d'insuline : un défi difficile à relever

Nom : Insuline. Structure chimique : $C_{257}H_{383}N_{65}O_{77}S_6$. Depuis sa découverte en 1921 par le Canadien Frederick Banting, récompensée par le Nobel de médecine en 1923, les scientifiques rêvent de pouvoir l'administrer tout simplement par voie orale et non plus par injection sous-cutanée voire, en urgence, par intraveineuse. Hélas, impossible jusque-là, car l'insuline est détruite par les enzymes lors de son passage dans l'estomac. Néanmoins, une étude chez l'animal parue très récemment dans la revue *Chemical Science* rapporte que des chercheurs sont parvenus à protéger la précieuse hormone de l'acide gastrique en la disposant entre des nanomatériaux résistants. Tout espoir n'est peut-être pas perdu.

WORLDDIABETESTOUR.ORG

La découverte, en 1921, de l'insuline a valu le prix Nobel au Canadien Frederick Banting.

25 % des patients libres de toute injection dix ans après

« Les candidats aux greffes sont toujours des patients à la qualité de vie très altérée en raison du caractère instable et sévère de leur diabète », précise la Dr Sandrine Lablanche, diabétologue au CHU Grenoble-Alpes. Qui poursuit : *« Après plusieurs décennies de travaux, ce feu vert est un soulagement et une grande satisfaction. Maintenant, nous sommes prêts. Reste aux diabétologues à identifier parmi leurs patients les plus à même à bénéficier de cette approche pour les adresser aux différents centres spécialisés.* » « *L'objectif est de pouvoir greffer environ 150 patients par an* », assure le Pr Francois Pattou, chirurgien au CHU de Lille et l'un des pionniers de cette aventure qui a réalisé la première greffe en France en 2003. Avec son équipe, il a aussi publié en 2019 dans la revue *Diabetes Care* les premiers résultats démontrant que, dix ans après la greffe, 75 % des îlots étaient toujours fonctionnels et que 25 % des patients sont désormais totalement libres de toute injection. Mais *« il n'est pas encore possible de prédire pour qui cette insulino-indépendance sera atteinte »*, détaille Françoise Pattou, même si de meilleurs résultats sont observés chez les plus jeunes et les femmes.
Par ailleurs, le geste n'est pas anodin et nécessite ensuite, comme dans toute greffe, la prise d'un traitement immunosup-

presseur à vie qu'il faut surveiller de près en raison de ses risques d'infections ou de cancers. De plus, de nombreuses limites freinent encore le développement de la technique : le manque de donneurs, des organes parfois trop dégradés, la nécessité d'un nombre d'îlots important (au moins 10 000 îlots par kilo de poids corporel du receveur) pour assurer une greffe fonctionnelle sur le long terme. Ce qui se traduit par la *« nécessité d'avoir recours à deux à trois pancréas de donneurs pour une seule greffe »*, précise Lionel Bodet. Qui poursuit : *« Si on veut greffer plus de patients, il va falloir plus de pancréas et il sera nécessaire que toutes les équipes de transplanteurs s'y attellent. »*

SCIENCE PHOTO LIBRARY/SUCRÉ SALÉ

L'auto-injection d'insuline par voie sous-cutanée, que les malades de diabète de type 1 doivent effectuer très régulièrement afin d'équilibrer leur glycémie (taux de sucre dans le sang), est supprimée par la greffe.

Autre axe de recherche et d'amélioration, trouver d'autres cibles que le foie pour faciliter l'opération. Des essais prometteurs sont déjà en cours avec un muscle situé dans l'abdomen, l'omentum. Mais les chercheurs prévoient aussi de s'affranchir du traitement immunosuppresseur. Une start-up française, Adocia, a développé un hydrogel capable de maintenir l'activité des cellules tout en les protégeant du rejet. D'autres (Viacyte, Vertex) misent sur les cellules souches pour produire directement des cellules bêta et ont aussi lancé des études chez l'homme.

Reste également à démontrer l'avantage médico-économique de la greffe. L'essai Stabîlot (coordonné au CHU Grenoble Alpes par la Dr Sandrine Lablanche) doit justement comparer l'impact économique de la transplantation d'îlots avec l'approche par pompe pourvues de capteurs chez ses 30 patients. Réponse fin 2022. ■

* Grenoble, Lille, Lyon, Montpellier, Nancy, Nantes, Paris, Strasbourg, Toulouse.

DISPOSITIFS MÉDICAUX

Des capteurs permettent une délivrance automatisée d'insuline

Tout est parti d'un véritable bond technologique survenu dans les années 2000 : l'arrivée des capteurs de glucose permettant une mesure continue ambulatoire du glucose dans le sang. Appelés à tort *« pancréas artificiels »*, ils sont toujours associés à une pompe externe à insuline et à un algorithme. Ils permettent une délivrance automatisée de l'insuline en fonction des variations de la glycémie. Selon les systèmes, l'algorithme est soit placé dans la pompe, soit dans un boîtier informatique indépendant (un smartphone) qui reçoit le signal du capteur avant de transmettre un signal de commande à la pompe. Pour mieux accompagner les praticiens et les patients dans cette révolution technologique, la Société francophone du diabète (SFD) a publié en 2020 un document de consensus destiné aux médecins précisant les indications.

Mais attention, *« ces systèmes ne sont ni magiques ni totalement autonomes et nécessitent toujours l'intervention du patient au moment des repas et en cas d'activité physique »*, précisaient, unanimes, les experts réunis lors du récent congrès de la SFD. À ce jour, les résultats des études cliniques qui rapportent une diminution de moitié du temps passé en hypoglycémie, devront être confirmés par l'utilisation dans la vie de tous les jours.

Quatre industriels, le français Diabeloop, les américains Medtronic et Tandem ainsi que le britannique Camdiab ont développé des systèmes utilisables à partir de l'âge de 6 ans et dont le remboursement par l'assurance-maladie est à l'étude. Dans tous les cas, mieux vaut être motivé, formé et pas réfractaire aux nouvelles technologies ! S'ils ne s'adressent pour l'instant qu'aux patients diabétiques de type 1, les constructeurs visent à terme aussi ceux de type 2.

L'empathie est une plus-value pour la pratique médicale

Être à l'écoute du patient influe sur le système immunitaire, atténue la douleur et ralentit la fréquence cardiaque. C'est ce que confirme une étude récente insistant sur la nécessité d'inclure l'empathie dans l'approche médicale.

Être présent auprès du patient, à l'écoute de ses besoins, lui apporter toute son attention et veiller à lui donner toutes les explications nécessaires sur les actes pratiqués : cette attitude n'est pas seulement une posture visant à améliorer le ressenti des malades. *« L'empathie clinique est un élément important du soin lui-même »*, affirme le Pr Jean Decety, du département de psychologie et psychiatrie de l'université de Chicago (États-Unis), spécialiste de la question, dans une étude récente sur la nécessité d'inclure l'empathie dans l'approche médicale. Ce que montre désormais un nombre croissant de travaux. Ainsi, des patients atteints de la grippe saisonnière et qui bénéficiaient de la visite d'un médecin perçu comme empathique ont vu leur système immunitaire s'améliorer et la durée comme la sévérité de leurs symptômes diminuer par rapport à un groupe contrôle, selon une équipe dirigée par le Pr Bruce Barrett, de l'université du Wisconsin-Madison (États-Unis).

Toute aussi étonnante, une étude menée à la Thomas-Jefferson University de Philadelphie (États-Unis) sur près de 900 personnes diabétiques. Elle a montré que celles régulièrement suivies par un soignant jugé empathique contrôlaient mieux — à traitement égal — leur taux d'hémoglobine glyquée (56 %) et de cholestérol (59 %). *« L'empathie apporte une vraie plus-value à la pratique médicale, et ce de multiples façons »*, poursuit Jean Decety. Ainsi, les médecins jugés plus attentionnés ou à l'écoute que les autres sont moins souvent sujets à des poursuites judiciaires pour faute professionnelle de la part de leurs patients aux États-Unis selon une étude parue dans la revue *Baylor University Medical Center Proceedings*.

L'un des plus hauts degrés cognitifs

Pour Bérangère Thirioux, chercheuse au centre hospitalier Henri-Laborit à Poitiers, l'empathie est *« l'un des plus hauts degrés cognitifs »*. Elle a été, pour l'heure, uniquement repérée chez l'humain et les grands singes selon Francis Eustache, neuropsychologue à l'Inserm de Caen. Il s'agit d'un état mental complexe — appelé « théorie de l'esprit » — qui consiste *« à prendre le point de vue de l'autre en attribuant à soi-même et à autrui des états mentaux tels que des émotions, des croyances ou des intentions »*, poursuit Bérangère Thirioux. L'empathie met en jeu des *« capacités de contrôle des représentations mentales appelées ressources exécutives, et situées dans le cortex préfrontal »*, pour-

EN PARTENARIAT AVEC « SCIENCES ET AVENIR »

8e colloque Empathie et Santé intégrative

« *Prendre soin de l'homme pour prendre soin de la planète.* » Tel est le thème du 8e colloque Empathie et Santé intégrative, dont Sciences et Avenir-La Recherche est partenaire, qui aura lieu les 4 et 5 juin prochains en visioconférence. L'objectif est de comprendre, selon une approche scientifique, les différents modes d'action de pratiques telles que la méditation et l'hypnose et d'étudier leur mise en place dans des contextes généraux comme l'amélioration du sommeil ou encore en gastroentérologie, oncologie ou soins palliatifs. La pratique de l'apnée ou les aspects neuroscientifiques de l'empathie sont aussi au programme. Parmi les intervenants, outre l'organisatrice Isabelle Célestin-Lhopiteau, directrice de l'Institut français des pratiques psychocorporelles (IFPPC) et présidente de l'association Health United, le professeur Dan Benhamou, anesthésiste-réanimateur à l'hôpital Bicêtre (Val-de-Marne), le Pr Éric Bonvin, directeur de l'hôpital du Valais (Suisse) ou encore la Pr Laurence Verneuil, chef du service dermatologie au CHU de Caen. Programme et inscriptions sur www. Ifppc.fr

CHAD KIRKLAND/REDUX-REA

L'efficacité du traitement est renforcée lorsque le personnel soignant prend le temps de créer des liens avec le patient.

suit Jean Decety. Elle est même visible à l'imagerie cérébrale : elle seule active la jonction temporo-pariétale gauche impliquée dans l'évaluation de ce que les autres pensent et le précuneus, impliqué dans la conscience de soi. Autrement dit, l'empathie active des zones « d'autocontrôle » comme si elle appuyait sur des freins pour éviter l'emballement émotionnel. Comme l'a montré une étude menée par Ezequiel Gleichgerrcht et Jean Decety, elle constitue aussi une forme de protection pour le soignant en lui permettant de garder une distance suffisante le mettant à l'abri de l'épuisement psychique (*burn out*).

Dès lors, comment cette attitude peut-elle jouer un rôle positif sur la santé des patients qui en sont l'objet ? Tout d'abord parce que la douleur ressentie en est atténuée comme l'a notamment montré une étude sur 40 patients parue dans l'*European Journal of Neuroscience* : la sensation de douleur et la fréquence cardiaque sont diminuées à l'écoute de commentaires empathiques, contrairement à ce qui est observé lors de commentaires peu amènes ou neutres. « *Les phrases empathiques diminuent la douleur ressentie d'environ 12 %. Certains médicaments ne font pas mieux* », écrit Camille Fauchon, l'un des auteurs de l'étude, chercheur Inserm au sein de l'équipe d'intégration centrale de la douleur chez l'homme (NeuroPain) du Centre de recherche en neurosciences de Lyon-Saint-Étienne. Dans cette même expérience, le cerveau des soignés a ensuite été observé en IRM fonctionnelle alors qu'ils étaient soumis aux mêmes stimuli douloureux en écoutant les commentaires empathiques ou non. « *Cela confirme qu'en modifiant le contexte par une attitude empathique, on modifie la perception douloureuse par le recrutement de réseaux cérébraux de haut niveau* », poursuit Camille Fauchon, en particulier le cortex cingulaire postérieur et le précuneus. « *Un praticien attentionné qui prend le temps de créer des liens avec ses patients est une aubaine pour leur santé. L'empathie est un élément puissant qui facilite l'efficacité du traitement* », conclut Jean Decety. ■ **Carole Chatelain**

@CaroleChatelain

CAMILLE FAUCHON

« Les phrases empathiques diminuent la douleur ressentie d'environ 12 %. Certains médicaments ne font pas mieux »

Camille Fauchon, chercheur Inserm au sein de l'équipe NeuroPain du Centre de recherches en neurosciences de Lyon-Saint-Étienne

La 5G entre risques et promesses pour la santé

Si l'agence de sécurité sanitaire française vient de balayer les premières craintes pour la santé liées à la 5G, tous les doutes ne sont pas levés. En attendant, cette technologie ouvre des perspectives inédites pour améliorer les soins, en urgence comme à domicile.

C'était un rapport très attendu : celui de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) au sujet des risques pour la santé posés par le déploiement du réseau 5G. Il a été publié le 20 avril avec pour première conclusion que, sur la bande de fréquence déjà utilisée par la 3G et la 4G, « *il n'existe à l'heure actuelle aucun lien de causalité entre l'exposition à ces sources de champs électromagnétiques et des effets sanitaires* ». Sur la nouvelle bande des 3,5 GHz, les données manquent mais « *il est peu vraisemblable que le déploiement de la 5G constitue un risque pour la santé* », annonce l'agence. Olivier Merckel, chef d'unité d'évaluation des risques liés aux agents physiques de l'Anses, estime qu'« *aucun élément ne constitue une alerte pour faire évoluer la feuille de route de la 5G* ». *(Lire l'encadré p. 66.)*
Soulagement pour les opérateurs français qui n'avaient pas attendu ces résultats pour lancer leurs offres dans plusieurs grandes villes comme Marseille, Bordeaux, Lyon et, depuis le 19 mars, Paris, ouvrant aussi de nouvelles perspectives.

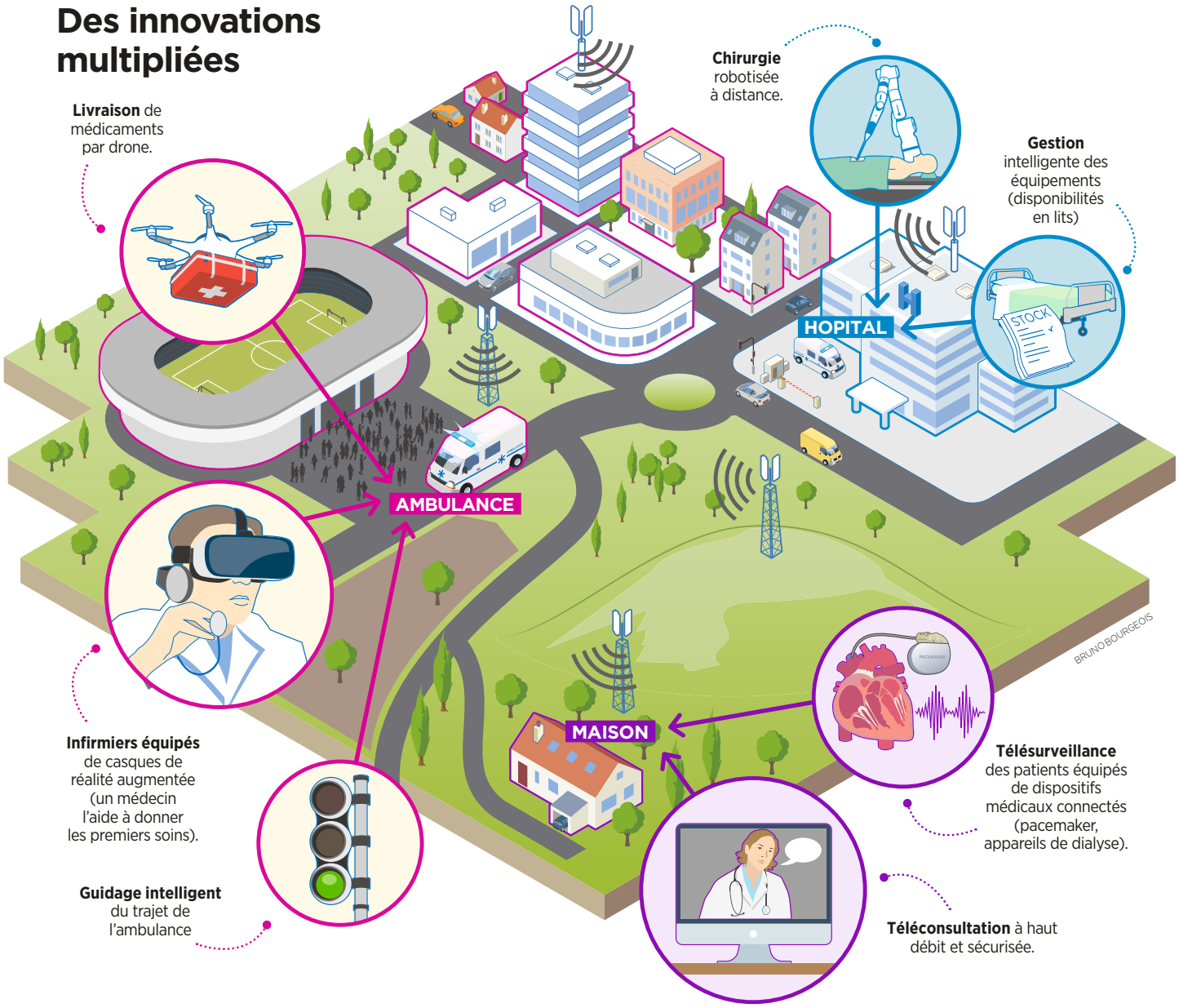
EXELUS

« Grâce à un casque de réalité mixte, un pompier pourra transmettre à distance un bilan complet à un médecin »
Xavier Maurin, président d'Exelus

En effet, si l'association des mots « 5G » et « santé » conduit tout d'abord à l'évocation des risques, elle s'accompagne aussi de promesses d'innovation. « *En santé, elles sont très nombreuses*, estime Vincent Diebolt, un ancien directeur d'hôpital qui dirige la plateforme F-Crin-Inserm de soutien à la recherche clinique. *Les bandes de fréquences beaucoup plus larges permettront de décupler les débits de données.* » Deuxième atout : le délai de latence. Le réduire de 0,27 s en 4G à 0,01 s en 5G a permis de réaliser en 2019 la première intervention chirurgicale « télémonitorée ». Une équipe dirigée par le Dr Antonio de Lacy, de l'hôpital universitaire Clinic de Barcelone (Espagne), a opéré une tumeur intestinale, guidée en temps réel par un médecin expert situé à 5 km, grâce à une télédiffusion en 5G. Une première mondiale.
Ces gains devraient également favoriser le développement de la télémédecine dans les zones rurales. « *En Normandie, où j'exerce, les réseaux de télécommunications sont aujourd'hui un frein majeur au développement de la téléconsultation* », témoigne Lydie Canipel, infirmière et coprésidente de la Société française de santé digitale. D'après une enquête du ministère de la Santé, la moitié des médecins qui ont fait de la téléconsultation pendant la pandémie ont rencontré des problèmes techniques, et notamment de connexion. « *Si la technologie ne permet pas aux soignants de reproduire à distance les conditions d'un bon examen clinique, ils ne peuvent pas poser leur diagnostic* », assure Lydie Canipel. Aussi la présence de soignants auprès des malades n'est-elle pas près d'être remise en question. « *Il faut les équiper en smartphones 5G* », préconise l'Institut Sapiens, un *think tank* indépendant, dans son rapport publié en juillet 2020*.

Une tablette connectée pour les secouristes

Et les auxiliaires médicaux ont besoin d'objets connectés pour transmettre les données au médecin. La 5G évitera aussi les phénomènes de saturation. « *Dans une grande gare un jour d'affluence, le réseau sature*, constate Vincent Diebolt. *Et si un accident se produit, les premiers secours doivent malgré tout pouvoir communiquer, échanger des données avec l'hôpital.* » Or, « *avec la 5G, nous pouvons assurer à 99,999 % que le réseau est disponible et que les données arrivent* », souligne Alain Sibille, professeur à Télécom Paris.
La nouvelle génération ouvre aussi des perspectives sur des



usages plus innovants. Et notamment dans les situations d'urgence. Des expériences d'ambulances connectées commencent par exemple à voir le jour en France. La société Excelus a ainsi mis au point Nomadeec, une plate-forme de télémédecine mobile d'urgence qui permet aux ambulanciers, aux pompiers, aux secouristes de faire des bilans complets avec des photos, des vidéos, et de les télétransmettre grâce à une tablette connectée. Avec la 5G, ces données critiques passent en priorité, une tranche de la bande passante étant affectée aux secours. L'ambulance quant à elle pourra se frayer un chemin dans les embouteillages en agissant sur les feux de circulation connectés. Enfin, des drones connectés pourront parallèlement livrer très rapidement des médicaments ou du sang sur le lieu d'un accident. Dans un futur plus lointain, Xavier Maurin, président d'Exelus, envisage de doter ces mêmes intervenants de terrain d'un casque de réalité mixte : « *Les mains libérées de la tablette, un pompier pourra faire les premiers gestes de soins, activer des interfaces holographiques pour transmettre un bilan complet au son de sa voix et le médecin à distance pourra lui transmettre des guides, toujours sous forme d'hologrammes, pour pratiquer par exemple un accouchement par le siège.* »

Après le domicile et les situations d'urgence, c'est dans l'enceinte même de l'hôpital que la 5G pourrait offrir des perspectives. Grâce au temps de latence réduit, la chirurgie robotisée devrait gagner en précision. Les opérations réalisées avec des lunettes augmentées rendront visibles des éléments invisibles à l'œil nu, tels que l'épaisseur exacte des tissus ou l'emplacement précis des organes.

Un outil de géolocalisation des équipements

Mais, les hôpitaux font aussi face à des problématiques plus quotidiennes comme savoir en temps réel le nombre de lits disponibles. Pour y remédier, le CHU de Toulouse teste un outil de géolocalisation de tous les équipements médicaux, mais aussi… des patients souffrant d'Alzheimer. Cette expérimentation, lauréate de l'appel à projets sur la 5G lancé par la Direction générale des entreprises (DGE) du ministère de l'Économie et des Finances, nécessite une couverture 5G de tous les bâtiments.

BURGER/PHANIE

La modélisation 3D d'un rein permet de guider l'opération d'une tumeur (en violet), au CHU de Bordeaux. Avec la 5G, ce type de chirurgie complexe pourra être « délocalisé », le patient étant opéré à distance.

« *Pour la plupart de ces innovations, il va falloir attendre 2023 quand le cœur de réseau, et pas seulement les antennes, sera lui aussi en 5G* », prévient Alain Sibille. L'exploitation de la bande des 26 GHz, avec ses ondes millimétriques, ouvrira de nouvelles perspectives, sauf que leur impact sur la santé est inconnu *(lire l'encadré ci-dessous)*. Ce changement d'échelle requiert aussi de lourds investissements pour les opérateurs téléphoniques comme pour les acteurs de la santé qui vont devoir s'équiper de solutions de télémédecine, d'objets connectés intelligents, mais aussi former les professionnels.

Et pour le moment, à la DGE, on précise que « *le retour sur investissement pour un hôpital n'est pas encore connu* ». L'appel à projets vise justement à identifier des cas d'usage où la 5G a une réelle plus-value et à « *documenter le modèle économique* ». L'étape est cruciale pour le secteur de la santé qui « *est très fragmenté* », avec des PME innovantes mais avec de faibles capacités d'investissement et des hôpitaux sous tension. Des études comme celle menée par le Samu 86 du CHU de Poitiers sur 3700 appels reçus de 75 Ehpad pourraient convaincre les établissements de passer à la vitesse supérieure : elle a montré que les établissements dotés de la plate-forme de la télérégulation Nomadeec avaient pu diminuer de 25 % les hospitalisations en urgence de leurs résidents. La promesse est forte. ■

Cécile Coumau @ cecilecoumau

* « La 5G au service du secteur de la santé de demain », Institut Sapiens.

TOXICOLOGIE

L'inconnue des ondes millimétriques

Les 10 milliards d'objets connectés en 2018, devraient bientôt se compter en milliers de milliards. Telle est la prévision faite par la CIA dans son rapport sur l'avenir du monde publié le 28 avril. Et selon les estimations, 30 à 40 % de ces produits de l'« IoT » (*Internet of things*, Internet des objets) seraient dédiés à la santé. Pour supporter le développement de l'Internet des objets, la bande de fréquences des 26 GHz — pas encore commercialisée en France — serait nécessaire, prévient Alicia Torriglia, présidente du groupe de travail sur la 5G. Malgré sa faible portée (environ 150 m), elle présente l'avantage d'offrir des débits de plusieurs gigabits. L'impact sur la santé de ces ondes millimétriques est très mal connu. « *Les données ne sont pas suffisantes pour conclure* », a estimé l'Anses dans son rapport publié en avril. Si les ondes millimétriques ont la particularité de pénétrer moins profondément dans l'organisme que celles d'autres longueurs (quelques millimètres contre plusieurs centimètres pour la bande 700 MHz - 2,6 GHz utilisée par la 4G), l'agence s'est bien gardée de conclure à leur innocuité. Ce sont les couches superficielles de l'œil et de la peau qui sont exposées. Quelques rares études ont bien été menées pour évaluer leurs effets sur le cristallin et l'apparition éventuelle de cataractes mais « *seulement sur des cellules en culture ; nous n'avons rien sur l'organisme entier* », prévient Alicia Torriglia.

Comment le cerveau des champions rate les penaltys

À l'approche de l'Euro de football, une étude éclaire les facteurs psychologiques qui affectent le tir au but : le stress de l'enjeu empiète sur les capacités motrices du joueur.

Pour réussir un penalty ou une séance de tirs au but, les footballeurs professionnels devraient surtout s'abstenir de réfléchir, « faire le vide » comme disent les préparateurs mentaux. Le secret de la réussite, ou de l'échec, de cet exercice à fort enjeu émotionnel résiderait en effet dans la capacité des joueurs à laisser fonctionner leur cortex moteur, parfaitement entraîné à l'exécution d'un geste finalement assez simple. C'est le bon conseil que peuvent donner les neurosciences aux joueurs qui participeront à l'Euro de football à partir du 11 juin dans plusieurs pays européens. Le fruit d'une étude publiée par des chercheurs de l'université de Twente à Enschede (Pays-Bas) dans *Frontiers in Computer Science*. La première à avoir mesuré l'activité cérébrale de joueurs au cours de séances de tirs au but organisées par les scientifiques sur un vrai terrain de football, en conditions quasi réelles donc.

Le cerveau surveillé par des capteurs optiques placés sur le cuir chevelu, 22 volontaires non professionnels ont été invités à tirer 15 penaltys chacun dans trois configurations différentes : face à un but vide, puis contre un gardien « ami » et enfin dans une situation génératrice de stress alors qu'un prix était mis en jeu et que le gardien tentait de déconcentrer le tireur.

Les joueurs qui marquent sous la pression activent la zone cérébrale correspondant au mouvement, le cortex moteur. Au contraire, ceux qui échouent activent la zone liée aux émotions, le cortex préfrontal, qui interfère avec la bonne exécution du geste (ici, le penalty manqué par David Trezeguet en finale de la Coupe du monde 2006).

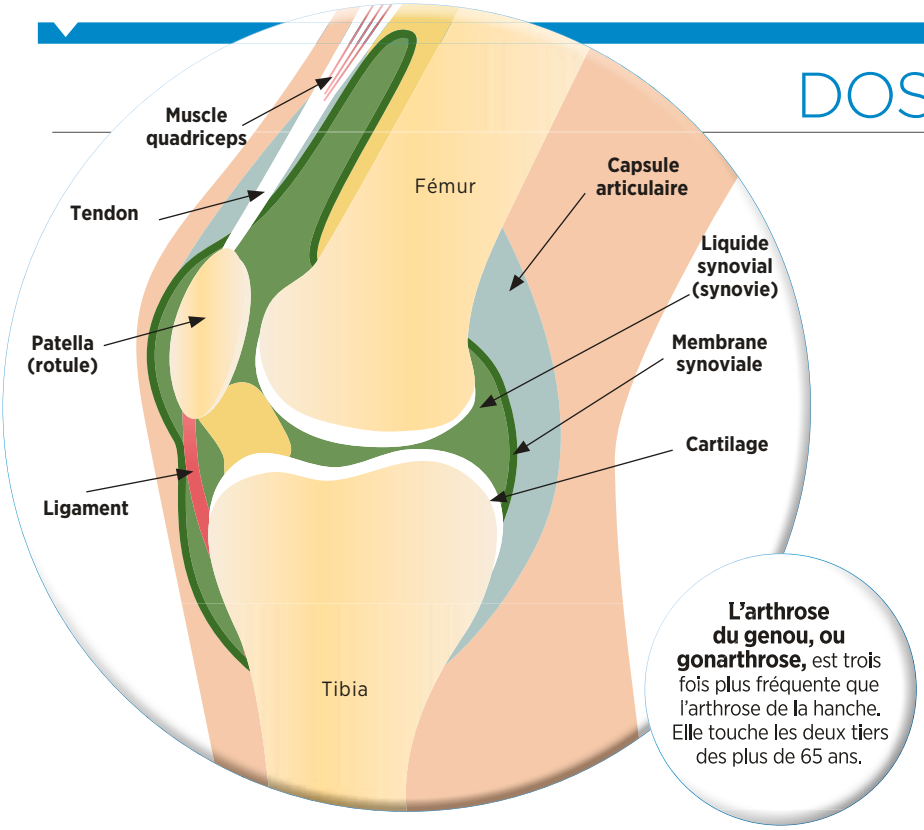
Le poids des pensées inutiles

Pour plus de réalisme encore, il était demandé aux participants de partir de la ligne médiane du terrain pour marcher avec le ballon avant de venir le poser au point de penalty. De quoi augmenter la pression avant le tir. En analysant les données de l'imagerie cérébrale obtenue pendant les séances, les chercheurs ont montré que *« les joueurs capables de réussir sous la pression activent des zones cérébrales plus pertinentes en particulier une, le cortex moteur. Ce qui semble logique puisque le mouvement est l'un des éléments les plus importants lors de l'exécution d'un penalty »*, expliquent-ils. En revanche, chez ceux qui rataient le cadre sous la pression, c'est le cortex préfrontal qui prenait le pas sur les capacités motrices, une région cérébrale impliquée dans le contrôle des émotions et la réflexion au long terme. *« Cela suggère que ces joueurs réfléchissent aux conséquences de l'échec, ce qui nuit à leurs performances »*, estiment les chercheurs. En d'autres termes, l'attention accordée à des pensées inutiles ou à des connaissances explicites — *« bien placer la balle »*, *« si je rate, toute l'équipe perd »* — interfère avec des mécanismes cérébraux automatiques qui assureraient, eux, la bonne exécution du geste.

En résumé, lorsqu'un joueur capable de réaliser des passes précises à 50 mètres de distance, rate un tir à 11 mètres, c'est essentiellement pour des raisons psychologiques : le stress de l'enjeu empiète bel et bien sur les capacités motrices du joueur. ■

Hugo Jalinière @hugojaliniere

ROBERTO SCHMIDT / AFP



ABSENTS SUR NOTRE IMAGE: LES LIGAMENTS CROISÉS ET LATÉRAUX QUI CONSOLIDENT L'ARTICULATION.

Cinq questions pour comprendre

les problèmes articulaires

Les maladies ostéoarticulaires sont diverses, fréquentes et affectent tous les âges de la vie. Si la prévention reste aujourd'hui la meilleure arme, divers traitements permettent de soulager les douleurs et de stopper l'évolution de certaines.

1 Quels liens entre rhumatismes et articulation ?

« Rhumatismes » : un mot générique pour désigner l'ensemble des affections, douleurs et inflammations qui peuvent toucher les articulations. Ils peuvent être chroniques ou aigus, survenir à tout âge, et avoir des origines très diverses. Et surtout, ils concernent des structures très différentes. En effet, dans une articulation, on retrouve des os, du cartilage mais aussi des muscles, des tendons (qui attachent les muscles aux os) et des ligaments (qui lient les os entre eux stabilisant ainsi les articulations) et la membrane synoviale qui tapisse l'intérieur de l'articulation et sécrète le liquide synovial, qui assure la lubrification. C'est pourquoi les médecins préfèrent aujourd'hui parler de maladies ostéoarticulaires. Les affections les plus fréquentes sont l'arthrose (dégradation du cartilage) et les différentes formes d'arthrites (inflammation de la membrane synoviale), qui peuvent avoir un impact très important sur la qualité de vie. Les facteurs de risque de l'arthrose sont multiples : l'hérédité, l'âge, le sexe, la sédentarité, le surpoids, les traumatismes articulaires répétés, des anomalies anatomiques...

Par Émilie Gillet, avec Agence Forum News

SHUTTERSTOCK

2 L'arthrose est-elle une fatalité ?

Maladie ostéoarticulaire la plus fréquente, l'arthrose se caractérise par une destruction progressive du cartilage qui va jusqu'à provoquer une inflammation de la membrane synoviale qui l'entoure, et s'étendre à l'os sur lequel repose le cartilage. Un phénomène progressif qui s'accompagne de douleurs, de perte de mobilité et parfois de poussées inflammatoires. L'arthrose peut se focaliser sur certaines articulations (mains, genoux, hanches, rachis...) ou être généralisée. Les facteurs de risque sont multiples : certains sont inévitables (âge, prédisposition génétique, anomalies anatomiques...), d'autres peuvent être contrôlés (surpoids, désordres métaboliques, sédentarité...). Aujourd'hui, la prévention est le meilleur des remèdes contre l'arthrose *(lire l'interview p. 70)*, avec, au premier rang, l'activité physique, qui permet de renforcer les articulations. Lors d'une crise inflammatoire, ou face à des douleurs trop importantes, divers traitements antalgiques peuvent être envisagés : anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), paracétamol, injections locales de corticoïdes. Par ailleurs, des injections d'acide hyaluronique (proposées pour rétablir une certaine viscosité au niveau de l'articulation) sont parfois pratiquées, même si leur efficacité est relative et encore sujette à débat.

93 %
des Français déclarent avoir déjà souffert de douleurs articulaires une fois dans leur vie.

66 %
rapportent un impact de leur douleur articulaire sur la qualité de leur sommeil.

9 à 10 millions
de personnes souffrent d'arthrose.

SOURCE : SONDAGE IFOP POUR L'INSERM ET ENSEMBLE CONTRE LES RHUMATISMES, 2016

Fondation ARTHRITIS
Recherche & Rhumatismes

UNE FONDATION POUR COMPRENDRE, SOULAGER ET GUÉRIR DEMAIN

Polyarthrite rhumatoïde, arthrite juvénile, spondyloarthropathies, lupus... Les rhumatismes et les maladies musculo-squelettiques regroupent un ensemble de plus de 150 pathologies qui affectent 20 % de la population à tous les âges. Au coeur de la recherche depuis trente ans, une structure privée : la Fondation Arthritis.

UN GRAND PAS POUR LES RHUMATISMES

Depuis 30 ans, la Fondation, organisée autour d'une équipe permanente et d'un département scientifique, avance à grands pas, appuyée en cela par le mécénat du Groupe Clarins pour dédier l'intégralité des dons collectés à la recherche. Elle finance la recherche sur les causes et conséquences de ces maladies qui peuvent handicaper enfants comme adultes. Elle pousse aussi à la découverte de thérapies innovantes.

100 millions de personnes sont touchées par les rhumatismes en Europe

1ÈRE cause d'incapacité dans le monde

15ÈME cause de mortalité précoce mondiale

MÊME LES ENFANTS SOUFFRENT DE RHUMATISMES... 1 JEUNE SUR 3 EST ATTEINT DE MALADIES ARTICULAIRES

La Fondation Arthritis, reconnue d'utilité publique, est le seul organisme qui finance la recherche sur les rhumatismes depuis 1989.

100% DE VOS DONS À LA RECHERCHE

> FAITES UN DON, POUR QUE LA RECHERCHE RESTE EN MOUVEMENT

N°GRATUIT 0 800 333 555 - Bénéficiez de 66% de remise sur vos impots

WWW.FONDATION-ARTHRITIS.ORG

Fondation ARTHRITIS Recherche & Rhumatismes

AVIS D'EXPERT

PR FRANCIS BERENBAUM CHEF DU SERVICE DE RHUMATOLOGIE
À L'HÔPITAL SAINT-ANTOINE (AP-HP, PARIS), DIRECTEUR DE RECHERCHE INSERM AU CRSA

« L'activité physique, la meilleure thérapie contre l'arthrose »

Peut-on prévenir l'arthrose ?
Oui et c'est même indispensable, puisque aujourd'hui on ne dispose toujours pas de traitement efficace. Il faut adapter cette prévention en fonction du patient. L'essentiel est de lutter contre le surpoids, d'éviter les chocs et les lésions et de renforcer la musculature qui stabilise les articulations. Cela passe donc par une activité physique régulière mais non traumatisante. Des actions de prévention et de protection doivent aussi être menées auprès des personnes qui exercent des métiers avec des gestes répétitifs ou à risque [position à genoux prolongée par exemple].

FRANCIS BERENBAUM

Quelles sont les recherches en cours en matière de traitements ?
Il s'agit d'abord de mieux comprendre la maladie pour identifier de nouvelles cibles thérapeutiques, notamment les molécules impliquées dans l'inflammation et la dégradation articulaire. Il y a par ailleurs des essais cliniques de thérapie régénératrice, comme l'essai multicentrique Adipoa, conduit par le CHU de Montpellier, où l'on évalue l'intérêt d'injecter des cellules souches pour aider à lutter contre l'inflammation et peut-être aussi à la reconstitution d'une articulation lésée par l'arthrose.

Pourquoi est-il important de continuer à bouger quand on est atteint d'arthrose ?
L'activité physique renforce les muscles mais aussi la proprioception [sensibilité du système nerveux aux informations provenant des muscles, des articulations et des os], ce qui permet de mieux stabiliser les articulations et donc de les protéger. Par ailleurs, le cartilage n'est pas un tissu vascularisé, mais il est comme une éponge : en bougeant, on favorise sa nutrition en surface comme en profondeur par les tissus avoisinants. Enfin, cela limite la prise de poids, mais aussi permet de lutter contre les douleurs. C'est probablement aujourd'hui la meilleure thérapie contre l'arthrose. ■

Propos recueillis par É. G.

3 Les médicaments symptomatiques contre l'arthrose sont-ils efficaces ?

Plusieurs types de médicaments ont une autorisation de mise sur le marché (AMM) pour traiter l'arthrose de la hanche ou du genou. Ils sont dits symptomatiques d'action lente car ils visent seulement à réduire les manifestations de l'arthrose, et non pas à la stopper ou à la guérir. Il s'agit principalement du sulfate de chondroïtine, des glucosamines et des médicaments composés d'insaponifiables (insolubles dans l'eau) d'huiles d'avocat et de soja. Aujourd'hui, plus aucun de ces traitements n'est pris en charge par l'assurance-maladie. Celle-ci considère en effet que le service médical rendu est insuffisant. « *Leurs effets sur la douleur et la gêne fonctionnelle liées à l'arthrose sont minimes et de pertinence clinique discutable. Ils ne permettent pas de réduire la consommation d'anti-inflammatoires non stéroïdiens* », selon la Haute Autorité de santé. Il est par ailleurs inefficace de consommer ces substances sous forme de compléments alimentaires, car elles sont alors présentes à des doses bien inférieures que dans des médicaments.

4 Quelles sont les différentes formes d'arthrite ?

L'arthrite est une inflammation d'une ou plusieurs articulations, sous forme aiguë ou chronique. Elle peut être consécutive à une infection (on parle alors d'arthrite septique ou infectieuse), à des cristaux (goutte et chondrocalcinose), ou encore être l'expression d'une maladie auto-immune (polyarthrite rhumatoïde et autres maladies auto-immunes comme le lupus lorsqu'il y a des symptômes articulaires). On parle de « spondylarthrite » quand ce sont essentiellement les articulations du rachis et du bassin qui sont touchées, comme dans la spondylarthrite ankylosante ou le rhumatisme psoriasique.
Ces arthrites se manifestent par des douleurs au cours de la nuit, une raideur matinale durant souvent plus d'une heure et une augmentation de volume de l'articulation (épanchement de synovie). Certaines comme la polyarthrite rhumatoïde risquent de provoquer des déformations caractéristiques, au niveau des mains ou des pieds.

5 Les enfants peuvent-ils souffrir des articulations ?

Les seniors ne sont pas les seuls à subir des affections ostéoarticulaires. Chez les enfants, les plus courantes sont le rhume de hanche (ou synovite aiguë transitoire) qui survient après une infection virale, et la maladie d'Osgood-Schlatter (ou ostéochondrose du genou), qui est une pathologie bénigne de la zone de croissance du cartilage et des os. Mais toutes ces affections demeurent peu dangereuses. Quant à l'arthrite juvénile, il s'agit d'une maladie auto-immune qui peut provoquer des anomalies de croissance et des lésions permanentes. Il en existe plusieurs formes dont l'évolution peut être très variable. ■

PUBLICITÉ

Fonctionnement du cerveau

Mémoriser, raisonner, anticiper, planifier, comprendre… les capacités du cerveau sont illimitées.

Au rythme du cerveau

Le cerveau émet en permanence des ondes dont la fréquence dépend de son activité. Eveil, sommeil, phase intense de réflexion : pour chaque état cérébral, l'activité neuronale est caractérisée par un type d'onde.

Ondes alpha, bêta, gamma : leur rôle est complexe et leur émission par le cerveau dépend de nombreux facteurs, comme l'état psychologique ou encore l'alimentation.

Des études récentes ont par exemple montré le lien étonnant entre Thé vert et ondes alpha. Les feuilles de Thé vert contiennent naturellement une substance appelée L-théanine. Malgré son nom, elle n'a aucun lien avec la théine et ne provoque aucune excitation, bien au contraire. La L-théanine régule la production d'ondes alpha : en situation d'effort intellectuel prolongé, elle est capable de diminuer leur production par le cerveau, ce qui favorise la mémorisation et la concentration. À l'inverse, si le cerveau se trouve en phase d'endormissement, elle stimule leur émission, d'où un effet relaxant propice au sommeil.

Théorie des signatures

La Théorie des Signatures était une méthode d'observation dans l'Antiquité, selon laquelle l'aspect des plantes était une indication de leurs bienfaits pour le corps. La science moderne a depuis confirmé l'efficacité de certaines plantes sur la partie du corps à laquelle elles ressemblent. Ainsi débarrassée de sa coque, la Noix ressemble fortement à un cerveau. Elle est riche en Omegas et en antioxydants, et plusieurs études ont montré ses bienfaits sur la mémoire.

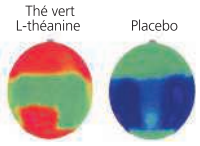
Indispensable irrigation

Le cerveau est incapable de constituer des réserves, et doit donc être alimenté en permanence en glucose. Celui-ci est apporté grâce à un vaste réseau de capillaires, de petits vaisseaux sanguins qui permettent d'irriguer efficacement l'ensemble du cerveau. Leurs fines parois laissent passer le glucose mais aussi l'oxygène indispensable au bon fonctionnement du cerveau. En effet, quelques minutes seulement sans oxygène y entraîne des lésions irréversibles. Là encore, l'alimentation et le mode de vie en général jouent un rôle primordial. La consommation d'aliments riches en antioxydants qui protègent les capillaires, et plus spécifiquement en polyphénols, influence directement le fonctionnement cérébral. Les recherches convergent notamment sur le Pin maritime, dont l'écorce renferme de grandes quantités de proanthocyanidines ou OPC, des polyphénols capables de stimuler la microcirculation sanguine dans les capillaires.

B comme bénéfiques

Le cerveau utilise aussi une multitude de vitamines et minéraux pour fonctionner. Un apport suffisant en vitamines B est particulièrement bénéfique pour maintenir des fonctions cognitives normales (mémoire, concentration, attention). La vitamine B5 par exemple est essentielle à la production de neurotransmetteurs, des substances chimiques qui permettent aux signaux électriques de passer d'un neurone à l'autre pour faire circuler l'information.

Le cerveau passé au scanner



L'activité cérébrale peut être observée grâce au scanner qui met en évidence les zones activées en fonction de l'état dans lequel se trouve le cerveau. La consommation de L-théanine (en rouge) active les zones de la mémoire et de la concentration. Sans L-théanine, ces zones restent inactives (en bleu). Les nombreux travaux de recherche effectués sur le fonctionnement du cerveau ont permis de mettre au point des solutions pour améliorer les fonctions cognitives et les performances intellectuelles. Le laboratoire de recherche végétale New Nordic a mis au point une formule complètement naturelle à base de plantes et vitamines. Baptisée **Cerveau Clair**, elle contient des extraits concentrés de Thé vert, de Noix, de Pin maritime et de Grenade, associés à des vitamines et de l'Iode pour optimiser les performances cérébrales. Ces actifs sont capables d'atteindre le cerveau en quelques heures et sont efficaces sur le long terme. Ils sont donc indiqués pour stimuler les capacités intellectuelles, la concentration et la mémoire, notamment en période de révisions ou d'examens, mais aussi pendant des programmes de plusieurs mois. Les actifs de **Cerveau Clair** atteignent rapidement le cerveau, pour une efficacité en moins d'une heure. Réservé aux adultes de plus de 15 ans.

Cerveau Clair 60 cp est disponible en pharmacie et espaces diététiques sous le code **ACL 295 18 63**
Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 85 41 32 61 (tarif local).
www.vitalco.com

La tomate, un fruit concentré

Peu calorique et source d'antioxydants, ce fruit-légume possède de nombreuses qualités nutritionnelles.

Avec sa robe rouge, verte, rose, noire ou jaune orangé, la tomate met du soleil et de la fraîcheur dans les assiettes. Et le choix est vaste : Roma, Marmande, cornue des Andes, noire de Crimée... Plus de 70 000 variétés de tomates sont conservées dans le monde. Considérée par les botanistes comme un fruit et par les cuisiniers comme un légume qui se prête à toutes les préparations (coulis, ratatouille, carpaccio, salades...), la tomate a fait un long voyage avant de devenir une incontournable de l'été. Cultivée par les Aztèques en Amérique du Sud, cette plante de la famille des solanacées est introduite en Europe par les Espagnols et les Portugais au XVIe siècle. Elle gagne l'Italie où elle est baptisée « *pomo d'oro* » (pomme d'or) avant de conquérir la Provence et peu à peu tout le pays. Aujourd'hui en France, près de 12 kg de tomates fraîches, produites en plein champ ou hors sol (60 % des volumes) sont consommées par an et par ménage (1). Pour faire face à la demande, l'industrie agroalimentaire a privilégié des variétés hybrides résistantes aux maladies et au transport... mais souvent au détriment du goût ! Toutefois, peu calorique et source d'antioxydants, la tomate possède de nombreuses qualités nutritionnelles.

Une source de vitamine C

Avec 95 % d'eau et 20 kcal/100 g, la tomate crue est l'un des aliments les moins caloriques, avec le concombre 12 kcal/100 g ou la laitue 14 kcal/100 g. Elle est donc intéressante pour qui surveille sa ligne, d'autant que ses fibres (1,5 g/100 g de tomate grappe) aident à réguler la satiété. C'est aussi une source de potassium (200 mg/100 g en moyenne), qui participe au maintien d'une bonne tension artérielle, et surtout de vitamine C (18,2 mg/100 g pour la tomate grappe) (2). Déguster quatre belles tomates (150 g) crues dans la journée couvre ainsi l'ensemble des besoins journaliers recommandés chez l'adulte (110 mg). À noter toutefois pour ceux qui souffrent de diverticules du côlon — petites hernies dans la paroi intestinale — qu'il est préférable d'ôter les pépins pour éviter tout risque d'inflammation.

61,6
millions de tonnes

de tomates sont cultivées par la Chine, premier producteur mondial, devant l'Inde (19,4 millions de tonnes) et les États-Unis (12,6 millions de tonnes). La France pointe en 29e position avec 712 000 tonnes en 2018.

(SOURCE : FAO STAT.)

Cuite, elle fournit davantage de lycopène...

La tomate se distingue par sa teneur en antioxydants de la famille des polyphénols (naringénine, rutine, quercétine, ...) et des caroténoïdes dont le bêta-carotène (966 µg/100 g de tomate grappe) et le lycopène. La teneur de ce pigment qui confère au fruit sa couleur rougeâtre — les tomates vertes et jaunes n'en contiennent donc pas — a la particularité d'augmenter à la cuisson. Les tomates fraîches en fournissent ainsi 3 à 5 mg/100 g contre 13,5 mg/100 g pour la sauce tomate et autour de 40 mg/100 g pour un double concentré (3). Toutefois, associer des produits à base de tomates à des aliments riches en fer réduirait de moitié l'absorption du lycopène par l'organisme. Mieux vaut donc les cuisiner avec un corps gras comme l'huile d'olive pour faciliter son assimilation (4).

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

VARIÉTÉ HYBRIDE Croisement entre deux variétés différentes, réalisé pour améliorer certains facteurs tels que l'abondance de la récolte, la résistance aux maladies et aux conditions climatiques, le goût, la « jutosité », la forme, la couleur, etc.

CAROTÉNOÏDES Pigments liposolubles orange et jaunes répandus chez de très nombreux organismes vivants. Les principaux sont l'astaxanthine, le lycopène, le bêta-carotène, la lutéine et la zéaxanthine.

COMPOSÉ AROMATIQUE VOLATIL Substance chimique à base de carbone ayant la propriété de s'évaporer dans l'air à température ambiante. Sur les 400 composés volatils identifiés dans la tomate, une trentaine participe à l'arôme du fruit.

… dont la consommation protégerait des maladies cardio-vasculaires

C'est ce que suggère une méta-analyse australienne qui a compilé les résultats de 12 études portant sur près de 700 personnes. La consommation de 25 mg par jour de lycopène contenu dans les tomates (soit 500 ml de jus) réduirait d'environ 10 % le taux de « mauvais » cholestérol (LDL), qui, en s'oxydant, favorise la formation de plaques d'athérome, facteur de risque d'infarctus du myocarde et d'accident vasculaire cérébral (AVC). Le pigment abaisserait également d'environ 10 millimètres de mercure (mmHg) la pression artérielle chez les personnes hypertendues (5). Avoir un taux élevé de lycopène dans le sang (plus de 0,22 µmol/l) réduirait de 59 % le risque d'AVC dû à un caillot sanguin, par rapport aux individus ayant des taux faibles (moins de 0,03 µmol/l), selon une étude finlandaise menée durant douze ans auprès de 1031 hommes âgés de 46 à 65 ans (6).

Elle perd son goût au réfrigérateur

Le stockage à basse température est largement utilisé dans la grande distribution pour ralentir la maturation et réduire la pourriture. Or, si la conservation des tomates à 5 °C pendant huit jours préserve leur teneur en sucres (glucose, fructose) et en acides de fruits (citrate, malate), elle réduit de 65 % les composés aromatiques volatils dérivés de nutriments tels que les acides gras (hexanal) et les acides aminés (isovaléraldéhyde), lesquels apportent toute sa saveur à la tomate (7). Mieux vaut donc conserver celle-ci à température ambiante ou la sortir du réfrigérateur 24 heures avant dégustation afin que le fruit puisse à nouveau synthétiser des composés aromatiques volatils. On peut aussi se tourner vers les circuits courts, sans conservation au froid.

Encore trop de sucre dans les sauces industrielles

La tomate qui a mûri au soleil renferme naturellement des sucres (2,6 g/100 g en moyenne). Mais les industriels en ajoutent quasi systématiquement dans les sauces à la tomate afin d'en corriger l'acidité. Résultats : la sauce à la provençale de Nature bio en fournit 9,7 g/100 g. Les marques ajoutent également du sel en quantité : la sauce aux tomates fraîches de Panzani en contient ainsi 1,18 g/100 g. Rappelons que l'Organisation mondiale de la Santé recommande de ne pas dépasser 5 g par jour. ■

Sylvie Boistard @syboistard

MATHILDE CAUSSE Généticienne, responsable de l'unité Inrae Génétique et amélioration des fruits et légumes (Avignon)

Pister les gènes responsables du goût

« La saveur de la tomate est essentiellement liée à ses teneurs en sucres (glucose et fructose), en acides citrique et malique ainsi qu'en composés aromatiques volatils comme le phénylacétaldéhyde et le phényléthanol, qui apportent des arômes sucrés, ou l'hexanal. D'autres facteurs jouent comme l'irrigation, l'apport en engrais, la quantité de lumière reçue, le stade où elle est cueillie, les arômes apparaissant dans les dernières phases de maturation. Pour améliorer son goût, nous avons établi une carte des préférences des consommateurs. Nous cherchons à identifier des marqueurs de l'ADN qui permettraient de pister les gènes impliqués dans la qualité organoleptique de la tomate afin de les intégrer aux futurs programmes de sélection. »

(1) Kantar Worldpanel, 2019.

(2) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(3) Sauces tomate, pas de quoi voir rouge ? *60 Millions de consommateurs*, avril 2019.

(4) The Effect of an Iron Supplement on Lycopene Metabolism and Absorption During Digestion in Healthy Humans, Kopec R. et al, *Molecular Nutrition and Food Research*, 2019.

(5) Protective effect of lycopene on serum cholesterol and blood pressure : Meta-analyses of intervention trials, Ried K. et al, *Maturitas*, 2011.

(6) Serum lycopene decreases the risk of stroke in men : A population-based follow-up study, Karppi J. et al, *Neurology*, 2012.

(7) Chilling-induced tomato flavor loss is associated with altered volatile synthesis and transient changes in DNA methylation, Zhang B. et al, *PNAS*, 2016.

Entretien avec...

L'immunologie n'a pas fini de révolutionner la médecine !

**Questions à Renato Monteiro,
Président de la Société Française d'Immunologie**

Qu'est-ce que l'immunologie ?

C'est la science du système de défense contre des pathogènes (virus, bactéries, parasites, etc.). Celui-ci est notamment régulé par ses interactions dans les muqueuses avec des bactéries anaérobies, le microbiote, dans les voies respiratoires, l'intestin... Chacun a les siennes propres et donc son propre système immunitaire.

Qu'est-ce qu'une maladie inflammatoire ?

Une inflammation qui ne se résout pas mais devient répétitive et chronique signifie qu'il y a réponse anormale à certains antigènes. La cause est inconnue mais il y a toujours rencontre entre terrains génétique et environnemental. Comme dans la maladie de Crohn où l'hyperactivation du système immunitaire provoque des inflammations successives entraînant l'érosion de la paroi de l'intestin grêle.

En quoi l'immunologie est-elle prometteuse ?

Demain, la médecine sera personnalisée. Son but ultime est de pouvoir connaître la carte immunogénétique de chacun afin de pouvoir prévoir chez qui tel facteur peut provoquer telle maladie. Je travaille par exemple sur une maladie rénale immunologique causée en partie par des bactéries anormales du microbiote intestinal. L'immunologie permettra de proposer des nouveaux traitements.

Et sur le SARS-CoV-2 ?

L'immunologie peut soigner par le vaccin ou par thérapie passive des patients en immunosénescence, dont le système immunitaire n'est plus apte à fabriquer ses propres anticorps. Des anticorps créés en laboratoire bloquent le virus et préviennent la phase létale. Cela nécessite de savoir de quel variant est atteint le patient et ne remplace pas le vaccin. ■

+ d'infos : https://immunology.fr

Société Française d'Immunologie

Dossier réalisé par **DUOMEDIAS.**
Gilles Baron 06 82 84 11 02 – gbaron@duomedias.fr
Rédaction : Lise Dabel, Guillemette de Bayser – Maquette : Sylvie Bisson

SANOFI GENZYME

Détecter l'asthme sévère pour mieux le prendre en charge

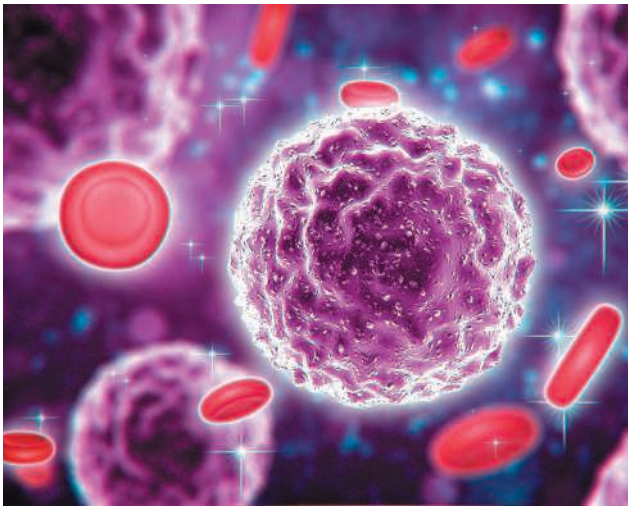
L'asthme sévère est largement sous-diagnostiqué. Pourtant, avec l'avènement récent de nouvelles prises en charge, les malades peuvent espérer améliorer leur qualité de vie.

© Getty Images/iStockphoto

Chacun connaît autour de soi des asthmatiques. En France, cette maladie chronique touche plus de 4 millions de personnes [1], soit plus de 6 % de la population. Cette inflammation des voies aériennes produit des symptômes respiratoires intermittents tels que des sifflements, une toux, une oppression thoracique et des difficultés à respirer. Environ 3 à 10 % des asthmatiques souffrent d'une forme plus rare qualifiée d'asthme sévère, un asthme particulièrement difficile à soigner malgré le bon suivi des traitements habituels [2]. Lorsque l'asthme ne devient plus contrôlable, la prise en charge par un pneumologue est alors impérative.

La complexité du diagnostic

De fait, l'asthme sévère n'est pas évident à détecter. Comme souvent dans les maladies chroniques, le patient adapte son mode de vie à sa maladie. Il déménage au rez-de-chaussée pour s'éviter les escaliers qu'il n'arrive plus à franchir, il réside à la campagne plutôt qu'à la ville, à la recherche d'air pur, il utilise la voiture afin de s'épargner tout effort physique, etc. Ainsi, quand les médecins les questionnent, 73 % des asthmatiques sévères affirment aller bien [3].



© Getty Images/iStockphoto

« *En réalité, seulement 15 % de ces asthmatiques sévères sont bien contrôlés (sans symptômes ni gêne dans la vie quotidienne, avec moins d'une crise par mois),* affirme le Docteur Colas Tcherakian, Pneumologue à l'Hôpital Foch, à Suresnes. *À terme, les asthmatiques mal contrôlés risquent de développer une insuffisance respiratoire. De simples questionnaires suffisent pourtant à mieux identifier les malades comme les tests de contrôle de l'asthme (TCA) tels que celui de l'association internationale d'experts du GINA* (Global Initiative for Asthma). *Il s'agit de savoir si le malade est gêné dans ses activités, par ses symptômes (sifflement, réveils nocturnes), s'il est capable de monter quatre étages sans s'arrêter, s'il tousse en riant ou à quelle fréquence il prend un traitement de secours. Par ailleurs, il est difficile de faire comprendre au patient que soulager une crise ne traite en rien l'inflammation bronchique.* »

Selon lui, l'autre raison pour laquelle le dépistage ne s'améliore pas est liée au fait que les médecins généralistes ne disposent pas forcément des bons outils de diagnostic : « *C'est le souffle qu'il faut mesurer régulièrement, notamment* via *des épreuves fonctionnelles respiratoires (EFR) qui consistent à contrôler le débit d'air maximum ou VEMS (Volume expiratoire maximal par seconde) pour évaluer l'obstruction respiratoire, examens réservés aux pneumologues qui peuvent exceptionnellement être pratiqués chez les généralistes.* » En outre, le GINA recommande aux patients d'utiliser un débitmètre de pointe, un petit dispositif simple dans lequel le malade souffle pour déceler une dégradation de ses performances respiratoires ou évaluer l'effet d'un traitement. La mesure est basée sur le déplacement d'un curseur selon le souffle. « *Ce simple contrôle est sous-utilisé en France,* regrette-t-il. *Cela devrait être le pendant de la mesure de glycémie pour un diabétique.* »

Vers une nouvelle compréhension de l'asthme sévère

Depuis quelques années, les asthmatiques sévères disposent d'un nouvel arsenal thérapeutique. De quoi permettre aux patients d'espérer améliorer leur qualité de vie. Jusqu'alors, le traitement de base des asthmes sévères reposait sur les CSO (corticostéroïdes oraux) dont les effets secondaires sont particulièrement fréquents et problématiques. « *Depuis quelques années, nous disposons de nouvelles solutions thérapeutiques,* se réjouit le Dr Colas Tcherakian. *Les patients doivent savoir que la recherche a avancé et qu'ils ne doivent plus rester seuls face à leur maladie.* »

Une meilleure éducation thérapeutique

Pour mieux prendre en charge l'asthme sévère au quotidien, il faut également identifier ce qui est délétère dans l'environnement du malade, comme l'usage d'huiles essentielles, d'encens, certains diffuseurs de parfum… Il faut aider les malades à bien comprendre le phénomène d'inflammation, à mieux gérer leurs crises et adapter leur activité physique. C'est le but des centres d'éducation thérapeutique, nombreux pour le diabète, encore trop rares pour l'asthme. « *L'objectif de cette prise de conscience est d'aider le malade à mieux vivre avec ce qui lui reste comme souffle en gardant les meilleures capacités cardiaques et musculaires,* note le pneumologue. *Il s'agit souvent de favoriser la marche, la plus rapide possible et le plus longtemps possible.* »

Vers une meilleure compréhension de l'asthme de type 2

Depuis une dizaine d'années, ces mécanismes inflammatoires sont progressivement identifiés. Il est possible de cibler des cytokines (notamment interleukine (IL) -4, IL-5, IL-13), ces protéines produites par le système immunitaire qui servent à la communication entre les cellules. Elles agissent sur des cellules cibles auxquelles elles se fixent, ce qui induit souvent la production d'autres cytokines entraînant des réactions en cascade.

L'inflammation de type 2 peut être la cause de plusieurs affections comme l'asthme, la dermatite atopique ou la polypose naso-sinusienne [4]. Ainsi, de nombreux patients atteints d'asthme associé à une inflammation de type 2 souffrent aussi d'une ou plusieurs de ces maladies : près de 50 % des patients atteints de polypose naso-sinusienne ont un asthme associé et jusqu'à 45 % de ceux souffrant d'asthme sévère présentent une polypose naso-sinusienne [5][6]. La prise en charge de ces patients est complexe, et doit être pluridisciplinaire.

Les maladies inflammatoires de type 2 peuvent également se répercuter sur la santé physique et mentale provoquant des troubles du sommeil ou des dépressions, d'autant plus lorsque le patient souffre de plusieurs affections. Jusqu'à 50 % des personnes souffrant d'asthme sévère rapportent des symptômes de dépression [7].

(1) https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatises/maladies-et-infections-respiratoires/asthme

(2) GINA 2020 – Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and prevention 2020. Disponible sur : www.ginasthma.org

(3) Molimard M, Vervloet D, Le Gros V, Bourdeix I, Ponthieux A. Insights into severe asthma control as assessed by guidelines, pulmonologist, patient, and partner. Journal of Asthma. oct 2010;47(8):853 9.

(4) Gandhi NA, BL Bennett, NM Graham, et al. Targeting key proximal drivers of type 2 inflammation in disease. Nat Rev Drug Discov 2016;15(1):35-50.

(5) A. Khan, G. Vandeplas and T. Huynh, "The Global Allergy and Asthma European Network (GALEN rhinosinusitis cohort: a large European cross-sectional study of chronic rhinosinusitis patients with and without nasal polyps," Rhinology, vol. 57, no. 1, pp. 32-42, 2019.

(6) Micheletto C, et al. Eur Ann Allergy Clin Immunol. 2010;42 : 120-124

(7) C. Rand, R. Wright and M. Cabana, "Mediators of asthma outcomes," J Allergy Clin Immunol, vol. 129, no. 301, pp. 136-141, 2012

7000033400 - 05/2021

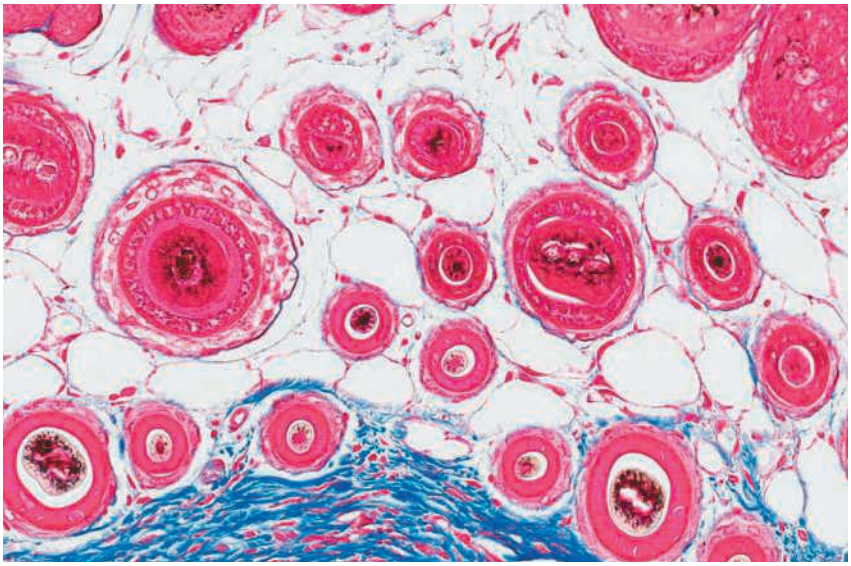
JANSSEN FRANCE

CP-230169 – 05/2021

Notre ambition est de contrôler de façon durable les maladies inflammatoires

Janssen concentre une partie de ses efforts de recherche pour développer de nouveaux traitements contre les maladies inflammatoires à médiation immunitaire.

Entretien avec Christine Contré, Directrice Médicale Immunologie de Janssen France



Qu'est-ce qu'une maladie inflammatoire chronique à médiation immunitaire ?

C'est une maladie due à un dysfonctionnement persistant du système immunitaire qui se manifeste par une inflammation chronique des tissus sains (peau, articulations, système digestif). Notre système immunitaire est activé quand il est agressé. Chez les personnes souffrant de ces maladies, ce système de défense est dérégulé. L'organisme s'attaque à lui-même pour des raisons qui restent encore mal connues. Des facteurs génétiques, environnementaux ainsi qu'un déséquilibre de la flore intestinale pourraient être en cause. À titre d'exemples, le système immunitaire attaque les cellules des articulations, des ligaments ou des tendons dans la polyarthrite rhumatoïde, les fibres nerveuses dans la sclérose en plaques.

Sur lesquelles de ces maladies travaille Janssen ?

Janssen mène des recherches en immunologie depuis plus de 20 ans. Nous avons été parmi les premiers à lancer des anticorps monoclonaux pour cibler les protéines impliquées dans les maladies inflammatoires, les cytokines. Ces traitements ont révolutionné la prise en charge de nombreuses maladies. Aujourd'hui, nous sommes plus particulièrement engagés dans trois de ces pathologies : le psoriasis qui se manifeste par des plaques sur la peau (1,5 à 3 millions de malades en France), le rhumatisme psoriasique qui atteint les articulations, et les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI) que sont la maladie de Crohn et la rectocolite hémorragique (RCH), qui se caractérisent par l'inflammation d'une partie de la paroi du tube digestif (plus de 200 000 patients en France).

Quels sont vos objectifs de recherche ?

La première préoccupation est la vie quotidienne des patients qui subissent une alternance de poussées inflammatoires entrecoupées de périodes de rémission qui peuvent durer plusieurs années si la maladie est bien contrôlée. Aucun traitement actuel ne guérit ces maladies. Notre but est de proposer aux patients des traitements innovants pour contrôler de façon durable leur maladie jusqu'à une disparition complète ou quasi complète de leurs symptômes et leur permettre de retrouver une qualité de vie satisfaisante. Ainsi, dans le cas des MICI, l'objectif est de faire disparaître toute trace d'inflammation au niveau de la paroi intestinale. Il existe aujourd'hui un arsenal thérapeutique varié et nécessaire car il arrive assez souvent que la maladie échappe à un premier, voire un deuxième médicament. L'adhésion du patient est alors primordiale…

Janssen s'est toujours beaucoup impliqué auprès des patients. Qu'en est-il sur ces maladies ?

Au-delà de la qualité de vie des patients, nous tentons de déstigmatiser ces maladies. Depuis quelques années, du seul rôle de bénéficiaire de soins, le patient est devenu un partenaire informé. Il est aujourd'hui un maillon clé dans le développement des produits, à chaque étape, aux côtés des équipes soignantes et des associations de patients. Avec ces dernières, nous développons des programmes d'information, du matériel pédagogique, des services innovants afin de mieux faire connaître ces maladies et d'améliorer les parcours de soins. Ainsi, avec l'association de patients France Psoriasis et des professionnels de santé, nous avons cocréé Citizen Pso, un outil pédagogique d'information sur le psoriasis pour lever les tabous sous forme d'*escape game*, pour changer le regard sur la maladie et informer plus facilement. ■

Information communiquée par le Laboratoire Janssen-Cilag

© Getty Images/iStockphoto

ASTRAZENECA

Traiter les asthmatiques sévères avec des thérapies ciblées

Bon nombre de patients asthmatiques sévères peuvent désormais bénéficier de traitements qui agissent directement sur les cellules inflammatoires.

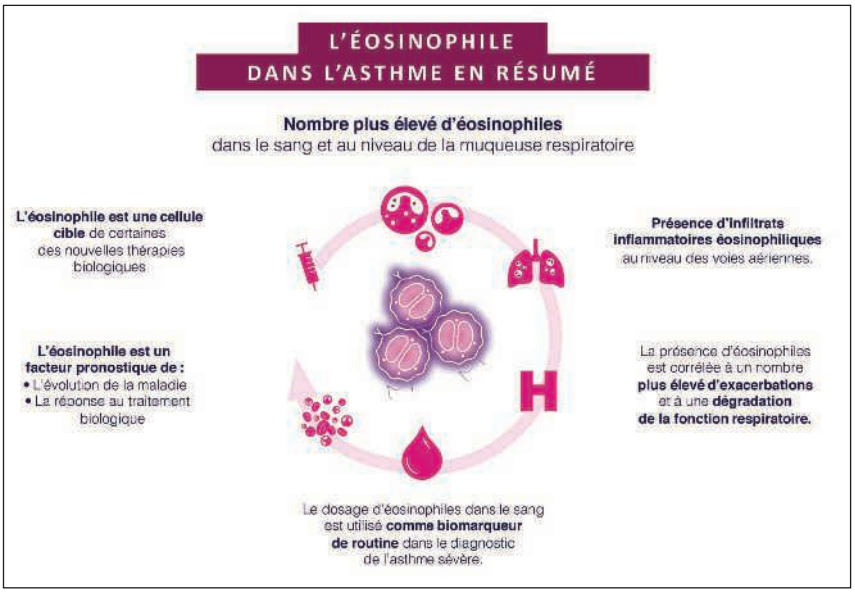
Entretien avec Gabriel Thabut.

L'asthme est une maladie aujourd'hui bien connue : cette inflammation chronique des bronches entraîne des crises, des sifflements et une gêne respiratoire. Si des phases de rémission existent, parfois de plusieurs années, la maladie persiste néanmoins toute la vie. La majorité des asthmes est bien contrôlée par les traitements conventionnels. Mais 5 à 10 % des patients souffrent d'une forme plus grave de la maladie, l'asthme sévère, avec des symptômes qui perdurent malgré les traitements ou qui nécessitent une pression thérapeutique élevée pour être contrôlés.

Aujourd'hui, les mécanismes physiopathologiques sous-jacents sont de mieux en mieux compris. Il s'avère qu'il n'y a pas « un asthme », mais plusieurs formes de la maladie, ce qui a ouvert la voie à des thérapies ciblées. « *De fait, on sait depuis 1990 que les éosinophiles, qui sont des cellules inflammatoires, jouent un rôle majeur dans l'asthme sévère,* explique Gabriel Thabut, Directeur des affaires médicales, aire thérapeutique respiratoire et immunologie chez AstraZeneca. *Ces cellules sont en grand nombre dans les bronches d'environ 70 % des asthmatiques sévères qu'ils soient allergiques ou non, et en quantité d'autant plus importante que l'asthme est sévère.* »

Cibler les éosinophiles

Comment agissent les éosinophiles ? Ils modulent la réponse immunitaire et jouent un rôle dans l'hyperréactivité bronchique, l'augmentation de la sécrétion de mucus et le remodelage des voies aériennes. Leur taux impacte également la capacité des traitements à contrôler l'asthme. Ce sous-groupe de patients, qui concernerait 50 à 70 % des asthmatiques sévères, peut être diagnostiqué avec une simple prise de sang. Typiquement, cet asthme dit éosinophilique débute à l'âge adulte, est fréquemment associé à une polypose nasale, à une fonction respiratoire altérée et à un recours fréquent aux corticoïdes oraux (CSO).



De fait, les CSO diminuent les éosinophiles sanguins. À ce titre, ils sont efficaces contre l'asthme mais ce sont des anti-inflammatoires au sens large, qui induisent de nombreux effets secondaires n'apparaissant parfois qu'au bout de 5, 10 voire 15 ans de traitement comme le diabète, des maladies cardiovasculaires, l'ostéoporose, des fractures osseuses, de l'hypertension artérielle, la cataracte, etc.

À l'inverse, les stratégies déployées dans les nouveaux traitements sont d'autant plus efficaces qu'elles ciblent spécifiquement les éosinophiles. Comment ? Leur présence et leur multiplication sont liées aux cytokines, des protéines produites par le système immunitaire. L'une d'entre elles, l'interleukine 5 (IL-5), est particulièrement importante dans la production des éosinophiles par la moelle osseuse, leur migration vers les bronches et leur activation.

Une nouvelle ingénierie thérapeutique

Les nouveaux traitements contre les éosinophiles (une injection tous les 15 jours à 2 mois) sont des anticorps monoclonaux qui ont pour objectif leur suppression rapide et quasi totale dans le sang.

Ces traitements réduisent les symptômes dont notamment les crises mais aussi le recours aux CSO, et améliorent ainsi la qualité de vie des patients.

« *Depuis une quinzaine d'années, nous développons une véritable ingénierie autour de ces anticorps monoclonaux,* confirme Gabriel Thabut. *Nous les modifions pour ajuster leurs propriétés : augmenter leur durée d'action, attirer telle cellule et détruire telle autre. Nous espérons que ce type de thérapie entraînera une réelle rémission de l'asthme sévère.* »

FR-8729 - 05/2021

Un trésor amérindien révèle ses secrets

Ceintures de perles, coiffes de plumes, masques et pectoraux… À Paris, le musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac abrite une collection d'objets unique au monde ayant appartenu à des populations d'Amérique du Nord. Leur identification précise fait l'objet d'un ambitieux programme de recherche.

Par Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

Une quinzaine de peaux peintes datées du XVIIIe siècle conservées au Quai-Branly sont en cours d'étude. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier permet l'analyse physico-chimique des matériaux utilisés pour le décor.

Disposant avec précaution de rutilants éperons argentins dans une large boîte, deux restauratrices en blouse blanche s'affairent dans une vaste salle du deuxième étage des ateliers du musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, rue de l'Université, à Paris. Non loin, rapportés d'Amérique du Nord cette fois, d'autres trésors attendent à leur tour d'être examinés. Protégés derrière le grillage d'une armoire à roulettes, on peut distinguer un fascinant carquois, façonné dans la peau d'un poisson du fleuve Mississippi ; des dards montés sur roseaux destinés à chasser les oiseaux à l'aide d'une sarbacane ; une paire de mocassins en peau d'ours brun porteurs de griffes acérées ; un pectoral en coquillage de couleur ivoire et une large ceinture noire. Tissée par des communautés des Grandes Plaines américaines, à partir de laine de bison, elle présente deux délicats rangs de lignes brisées serties de perles de verre qui trahissent les toutes premières rencontres avec des Européens… À ces objets précieux s'ajoutent, sauvegardés dans de profondes armoires, autant de sacs, vêtements de peau, colliers, poches à tabac, coiffes en plumes d'aigle, et autres attributs guerriers, casse-tête et arcs et flèches, issus d'un étonnant inventaire : celui des « collections royales » d'Amérique du Nord. 230 pièces amérindiennes collectées entre 1650 et 1850, qui constituent le plus ancien témoignage matériel des productions nord-amérindiennes ayant précédé la colonisation occidentale. Recueillies en grande partie à l'époque dans les colonies de la Nouvelle-France (1534-1760) *(lire l'encadré p. 81)*, ces collections sont en effet parmi les plus anciennes jamais entrées dans le royaume de France depuis des territoires qui correspondent au Canada et aux États-Unis d'Amérique actuels. Désormais rassemblées au musée du Quai-Branly, elles font l'objet d'un important programme de recherche baptisé

PAZ NUÑEZ-REGUEIRO

« Le but de ces expertises est de faire parler ces créations jamais étudiées jusque-là »

Paz Nuñez-Regueiro, responsable de l'Unité patrimoniale des collections Amériques au musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, à Paris

PHOTOS : MUSÉE DU QUAI BRANLY - JACQUES CHIRAC, JULIEN BRACHHAMMER

CROYAN, auquel collaborent une trentaine de chercheurs sous la direction de Paz Nuñez-Regueiro, responsable de l'Unité patrimoniale des collections Amériques.

Des cabinets de curiosités royaux aux musées

Depuis 2019, des investigations touchant à l'histoire, l'ethnologie et l'anthropologie sont ainsi menées sur ces œuvres d'exception. Le but est d'en identifier précisément la provenance pour mieux en connaître l'histoire et l'attribution culturelle. Savoir par exemple à quels peuples des Plaines, des Grands Lacs ou de l'Est nord-américain ces créations appartiennent. Et mieux, appréhender les relations que ces populations ont pu entretenir entre elles autant qu'avec les premiers interlocuteurs européens. Uniques au monde, constituées dès le XVII[e] siècle pour les plus anciennes, ces collections ont aussi été victimes, depuis la Révolution, des soubresauts de l'histoire. Avec des dispersions dans différentes institutions. Les objets étudiés au Quai-Branly proviennent en effet des cabinets de curiosités de l'aristocratie et des rois Louis XIV, Louis XV et Louis XVI, confisqués à la Révolution après 1789. Considérés comme des biens patrimoniaux d'intérêt public — donc propriété de la Nation —, ils ont alors été disséminés en de multiples lieux sous la République, l'Empire (1804-1814/1815), puis la Restauration (1814/1815-1830) avant d'être dirigés vers des musées naissants comme le Louvre ou, à la fin du XIX[e] siècle, le musée d'Ethnographie du Trocadéro, ancêtre du musée du Quai-Branly.

MUSÉE DU QUAI BRANLY - JACQUES CHIRAC, PATRICK GRIES, BRUNO DESCOINGS

Une coiffe de plumes au bandeau orné de piquants de porc-épic tressés (vers 1780, Plaines centrales ou du sud) et **des mocassins** réalisés à partir de pattes d'ours (vallée du Mississippi, XVIII[e] siècle) sont le sujet d'une séance de travail en visioconférence avec des membres de la nation amérindienne choctaw.

Cadeaux diplomatiques pour la

MUSÉE DU QUAI BRANLY - JACQUES CHIRAC, JULIEN BRACHHAMMER

Fabriqué à partir d'une peau de poisson, ce carquois provenant de la haute vallée du Mississippi est attribué à la tribu des Miami.

plupart, à l'exemple des ceintures de perles de wampum *(lire l'encadré ci-dessous)*, ces présents ont été offerts aux rois de France par des chefs autochtones. Quand une large partie de l'Amérique du Nord s'appelait encore la Nouvelle-France et que de la baie d'Hudson au golfe du Mexique, des trappeurs, et coureurs des bois répondant aux noms de Bissonette, Joliet, Pageau ou Nicolet... sillonnaient ces vastes régions, faisant commerce avec les différents peuples des Grandes Plaines. Dès le début du XVII[e] siècle, des colons français s'étaient en effet alliés avec des tribus locales, Micmacs, Algonquins, Abenaquis et Hurons.

MUSÉE DU QUAI BRANLY - JACQUES CHIRAC, PATRICK GRIES

Des filiations erronées ont pu être rectifiées

« *Le but de ces recherches est d'enrichir nos connaissances sur le contexte de provenance des objets et d'offrir un premier état de l'art de la culture nord-amérindienne pour ces périodes anciennes* », explique Paz Nuñez Regueiro. « *Des objets dont il a fallu d'abord remonter la piste dans les inventaires anciens* », ajoute la spécialiste, rejointe par Nikolaus Stolle. Cet anthropologue allemand, qui avait débuté au niveau européen une importante recherche sur les pièces rapportées d'Amérique, a posé les bases du projet parisien. « *Notre objectif est en effet de récolter le plus grand nombre de données possible les concernant, à partir de toutes les sources disponibles*, précise-t-il. *Savoir qui les a recueillies, dans quelles conditions, à quelle époque, auprès de quel groupe amérindien. Apprendre de quelle façon elles se sont retrouvées en Europe...* »

Ces recherches ont déjà apporté leur lot de surprises. C'est le cas d'un tomahawk, dont l'usage était répandu chez les nations des Plaines centrales. L'arme avait perdu son contexte d'origine et avait été recataloguée en 1956 sous une référence en X... L'étude du séjour parisien d'une délégation iowa venue en France en 1845 avec le peintre américain George Catlin a révélé l'importance historique de cette pièce. On sait à présent que la hache de guerre fut offerte au roi Louis-Philippe par le guerrier iowa Petit Loup. Après avoir

DIPLOMATIE

D'étonnantes monnaies d'échange

Objets diplomatiques par excellence, les colliers ou les ceintures de wampum *(ci-contre)* étaient utilisés comme monnaies d'échange dans les rencontres officielles. Les wampum, apocope du mot algonquin wampumpeague ou wampumpeake, sont un type de perles constituées essentiellement de coquillages de l'Atlantique, dont les peuples du nord-est de l'Amérique se servaient, par alternance de couleurs (blanche et pourpre), pour dessiner des motifs. Par métonymie, wampum désigne aussi les colliers ou ceintures eux-mêmes.

évoqué sa victoire sur un guerrier pawnee, il présenta la hache au roi et dit : « *J'ai entendu dire que la paix vaut mieux que la guerre, et j'enterre le tomahawk entre vos mains — je ne me bats plus.* » Un fouet, une pipe et une ficelle de wampum furent aussi offerts ce jour au roi qui serra la main des guerriers et leur offrit des médailles en or et en argent, comme d'usage à l'époque, et une somme d'argent. D'autres filiations erronées ont pu être rectifiées. C'est le cas du « masque de Louisiane ». Apparu dans les inventaires américains dès le XVIII[e] siècle, il est en fait originaire... d'Afrique !

Un dialogue étroit avec les communautés actuelles

« *Il nous est surtout essentiel de comprendre de quelle façon ces objets ont été confectionnés. À partir de quelles matières premières et selon quelles techniques* », enchaîne Éléonore Kissel, responsable du Pôle conservation-restauration des collections du musée parisien. « *Ainsi, la campagne d'étude des peaux peintes menée depuis juillet 2019 a permis d'analyser 18 d'entre elles* », complète Céline Daher, spécialiste d'analyses physico-chimiques des matériaux. « *En utilisant des analyses morphologiques (présence de follicules pileux, dimension des peaux, etc.), on a pu déterminer de quel animal elles provenaient. Nous pouvons à présent affirmer que ces peaux étaient essentiellement élaborées à partir de bison, de cervidés et notamment de caribou* », poursuit-elle. De même qu'avec la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, il a été possible de vérifier l'état du collagène de ces objets précieux pour anticiper leur évolution. Concernant les pigments des décors, la fluorescence des rayons X a contribué à savoir s'ils contenaient du fer, du plomb ou encore du cuivre. « *Des données essentielles pour la conservation et les transformations que ces palettes de couleurs pourraient connaître sous l'action du temps et de la lumière* », indique Céline Daher.

Ces examens approfondis ont surtout été l'occasion de dévoiler les caractéristiques de techniques d'exécution de ces pièces de grand prestige. En particulier des broderies réalisées à partir de poils d'orignal ou encore de piquants de porc-épic ! Après avoir été assouplies, travaillées et teintes, ces épines étaient transformées en fils aussi fins qu'un cheveu... « *Des travaux d'une délicatesse extrême, ayant requis un grand savoir-faire* », fait remarquer Paz Nuñez-Regueiro, montrant une petite pochette brodée, agrémentée de délicates plumes de pic vert.

MUSÉE DU QUAI BRANLY - JACQUES CHIRAC, J. BRACHHAMMER

L'analyse de cette pochette au microscope numérique a mis en évidence ses broderies confectionnées à partir d'épines de porc-épic transformées en fil.

« *Un des aspects majeurs de ce projet est aussi le dialogue étroit mené avec une vingtaine de groupes amérindiens liés à ces collections* », insiste Paz Nuñez-Regueiro. Des réunions en visioconférence permettent ainsi d'entrer en relation avec des membres des actuelles communautés choctaw en Oklahoma, sénéca dans l'État de New York, pour la confédération iroquoise, ou encore huron-wendat au Québec (Canada). « *Des collaborations qui permettent de comprendre dans le détail les contextes d'échanges de ces périodes* », souligne Paz Nuñez-Regueiro. Face à l'ampleur des résultats, le projet CROYAN, initialement prévu sur deux ans, devrait être reconduit.

Et en septembre 2021, plusieurs de ces pièces seront présentées à la bibliothèque municipale de Versailles (Yvelines) à l'occasion de l'exposition « La curiosité d'un prince. Le destin du cabinet ethnographique du comte d'Artois, de la Révolution à nos jours ». Ainsi que dans le cadre d'une exposition à venir prévue au sein du musée du Quai-Branly sur les ceintures de wampum. Des collections très anciennes, qui sont aussi la mémoire d'une histoire méconnue du premier empire colonial français ! ■

NOUVELLE-FRANCE

Le premier empire colonial français

Dès 1523, des marins et des pionniers français ont établi des contacts avec des nations d'Amérique du Nord qui s'étendront au cours des deux siècles et demi suivants, de Terre-Neuve (actuel Canada) et un siècle plus tard jusqu'au delta du Mississippi (golfe du Mexique). Du troc, des échanges se multiplient avec de nombreux interlocuteurs amérindiens. La Nouvelle-France, constituée des colonies d'Acadie, du Canada et de la Louisiane, existera de 1534 à 1760. À son apogée vers 1745, elle comprend le bassin du Saint-Laurent, la région des Grands Lacs et du Mississippi et une partie considérable du Labrador. La guerre éclate avec les colonies anglaises en 1754, avant même le début, en Europe, de la guerre de Sept Ans (1756-1760) et s'achève par la chute de Montréal en 1760. En 1763, le traité de Paris consacre la défaite française : le Canada et l'est du Mississippi sont cédés à l'Angleterre, l'ouest du Mississippi, à l'Espagne en 1767. Seuls sont conservés les Antilles et le petit archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon.

Le mégalodon, monstre des mers vaincu par le climat

Ce squale gigantesque, disparu il y a environ 3 millions d'années, aurait pâti de la raréfaction de ses proies. Et si le mégalodon avait été — déjà ! — une victime du changement climatique ?

JEFF CARRION/DEPAUL UNIVERSITY

Cette dent de quelque 16 cm de longueur, tenue par le paléontologue américain Kenshu Shimada, fait partie des rares fossiles de mégalodon à la disposition des chercheurs.

Un animal effrayant et démesurément grand. Voilà ce qu'évoque immédiatement « mégalodon » pour les requins — comme « barracuda » pour les autres poissons. La faute aux clichés véhiculés par la bande dessinée (la série *Carthago*) ou le cinéma (*Meg*) à propos de ce squale gigantesque qui pouvait atteindre 15 mètres de long *(lire l'encadré p. 84)*. Mais ce colosse disparu il y a environ 3 millions d'années traîne dans son sillage un portrait, finalement, bien trompeur.

D'abord parce qu'il n'est pas l'ancêtre du grand requin blanc. Une croyance tenace jusqu'à la fin du siècle dernier. *« Cela s'appuyait sur le fait que les deux espèces appartiennent au même groupe biologique des lamniformes et que la forme des dents de ces deux espèces est superficiellement semblable »*, témoigne Guillaume Guinot, spécialiste des requins anciens et paléontologue à l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier (Isem). Mais au sein de ce groupe, on sait désormais que les chemins des deux squales divergent : le mégalodon a intégré la famille aujourd'hui éteinte des otodontidés — d'où son nom savant d'*Otodus megalodon* — alors que la terreur des *Dents de la mer* fait partie de celle des lamnidés. Des cousins donc, tout au plus : rien n'impose que leurs physiques aient été à ce point d'exactes copies.

L'autre paradoxe au sujet du mégalodon tient à sa disparition. L'animal donne une impression de toute-puissance : il s'est pourtant volatilisé. Apparu voici 23 millions d'années au miocène inférieur, ce poisson cosmopolite a prospéré dans toutes les eaux du globe avec un acmé autour de -16 millions d'années. Ensuite, c'est la décrue. *« Sa trace disparaît après le pliocène supérieur, entre -3,6 et -2,6 millions d'années »*, explique Guillaume Guinot. Quel talon d'Achille a donc précipité sa perte ? Et si le mégalodon était — déjà ! — une victime du changement climatique ? C'est ce que suggère une étude publiée en novembre dernier dans *The Royal Society Journal Biology Letters*. Ce travail, notamment mené par des scientifiques de l'université de Valence, en Espagne, repose sur l'analyse d'une collection de dents fossilisées *(voir l'encadré p. 84)* de mégalodons conservées au musée del Cau del Tauro de Tarragone. Il s'agit de crocs de petite taille retrouvés autour de cette ville de la côte nord-est espagnole, qui appartenaient à de jeunes individus. Pour les scientifiques, c'est le signe qu'il y avait là, au large, une nurserie où grandissait la progéniture d'*Otodus megalodon*. Et le site n'aurait rien d'une rareté : les scientifiques ont, dans la foulée, identifié quatre autres « crèches à squales » — deux aux États-Unis, deux au Panama — la preuve qu'elles auraient existé un peu partout sur la planète.

Des nurseries pour protéger et nourrir les bébés squales

Les nurseries à mégalodons, *« c'est un scénario séduisant pour ces espèces à la croissance lente, au taux de reproduction faible et à la maturation sexuelle tardive »*, juge Alan Pradel, chargé de conserva-

HUGO SALAIS/METAZOA STUDIO/AFP

Longtemps considéré comme l'ancêtre du requin blanc et représenté comme tel, le mégalodon appartient en réalité à une autre famille, éteinte, les otodontidés, comme l'ont démontré de récentes études (vue d'artiste).

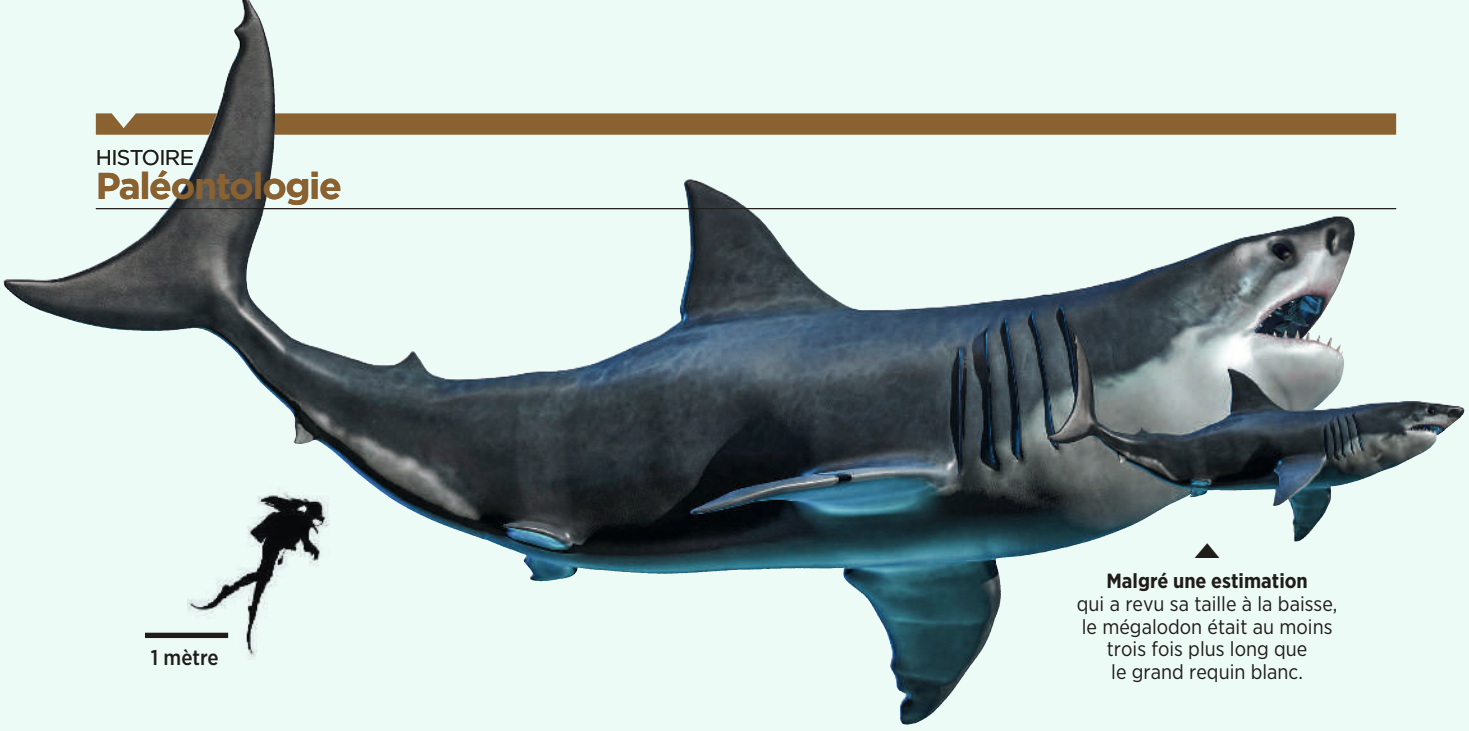
tion de la collection de poissons fossiles au Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Autant de caractéristiques propres aux animaux de grandes dimensions que les scientifiques prêtent par analogie au mégalodon : « *Elles justifient que les adultes accordent une attention particulière aux petits, qui naissent en faible nombre, pour assurer la perpétuation de l'espèce* », reprend le maître de conférences. Ainsi, une nurserie comme celle de Tarragone paraît l'endroit idéal pour la croissance des jeunes : une baie d'eau chaude et peu profonde, protégée par les récifs coralliens, et donc inaccessible aux grands prédateurs mais regorgeant de petits poissons et mammifères marins dont les bébés squales peuvent faire leur ordinaire. Un vrai paradis sous la mer. Qui un jour prit fin. Un événement à échelle planétaire est venu fracasser le havre des mégalodons : le refroidissement climatique survenu entre la fin du miocène et le début du pliocène. Il s'est traduit par une baisse du niveau de la mer. De quoi vider les nurseries de leurs eaux jusqu'à les faire disparaître ; et laisser les « bébés » requins à la merci des agressions extérieures. « *Le rôle des nurseries dans l'extinction du mégalodon reste une hypothèse* », tempère Guillaume Guinot. Pour le scientifique, il est en effet difficile d'imaginer qu'une régression du niveau des océans puisse totalement supprimer les pouponnières remarquant qu'« *aujourd'hui aussi, nous sommes à un niveau marin bas. Pourtant beaucoup de requins actuels utilisent des nurseries.* »

Mais le refroidissement aurait pu avoir d'autres incidences contribuant à expliquer la disparition d'*Otodus megalodon*. Certes, son propre organisme a pu s'y adapter : « *Le mégalodon était mésotherme, c'est-à-dire qu'il était capable de contrôler la température de son corps*, relève Jack Cooper, paléontologue à l'université de Swansea, au Royaume-Uni. *Il a ainsi pu s'adapter dans une certaine mesure à des eaux plus froides.* » En revanche le bouleversement du climat s'est aussi traduit par une raréfaction des proies du requin géant. Car le colossal animal avait de gros besoins en nourriture : il se régalait de baleines primitives

G. GUINOT

« Il est probable qu'il n'a pas pu se maintenir face à la réduction des ressources et de son habitat préféré »

Guillaume Guinot, paléontologue à l'Institut des sciences de l'évolution, Montpellier



Malgré une estimation qui a revu sa taille à la baisse, le mégalodon était au moins trois fois plus long que le grand requin blanc.

VICTOR HABBICK VISIONS/SCIENCES PHOTO LIBRARY

MORPHOLOGIE

Un squale de près de 15 mètres !

Du mégalodon, aujourd'hui, il ne reste plus que de rares fragments de vertèbres et des dents. Mais quelles dents ! « *Il avait dans la gueule une succession de scies, de couteaux géants,* dit Guillaume Guinot, de l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier. *Certaines peuvent atteindre 16 cm, c'est gigantesque. En travaillant sur les grosses espèces de requins fossiles, on est habitué aux dents impressionnantes. Mais en comparaison de celles du mégalodon, tout devient ridicule.* » Si le squelette du mégalodon n'est pas composé d'os — comme le nôtre — mais de cartilage, un matériau qui se fossilise mal, ses dents au contraire sont fortement minéralisées. Une caractéristique qui leur a permis de demeurer jusqu'à nous sous forme de fossiles : plusieurs milliers d'exemplaires enrichissent de par le monde les registres paléontologiques. Nettement triangulaires, elles sont caractérisées par leurs tranchants à crénelures : une adaptation évolutive pour améliorer leur pouvoir coupant. « *Cela reflète un mode de prédation vers des organismes de grande taille* », reprend Guillaume Guinot. Et c'est à partir d'elles que les spécialistes déduisent tout ce que l'on sait désormais sur le requin disparu. D'abord sa taille : depuis 2019, une estimation par l'Américain Kenshu Shimada (université DePaul, Chicago, États-Unis) fait référence. Elle accorde au mégalodon une longueur maximale comprise entre 14,2 et 15,3 m. Un léger rapetissement par rapport aux prévisions précédentes qui lui donnaient jusqu'à 20 m.

présentes dans tous les océans de notre planète. En tout cas jusqu'à ce que le refroidissement généralisé, accompagné de l'expansion de calottes glaciaires aux pôles et de modifications tectoniques comme la fermeture de l'isthme de Panama entre l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud, ait complètement perturbé les circulations des courants océaniques. Conséquence : une baisse drastique de la biodiversité au pliocène, qui s'est traduite par une chute du nombre de baleines dans les zones tropicales et intertropicales, celles où évoluait de préférence le mégalodon. « *Sa seule option a donc été d'entrer en compétition avec d'autres requins comme le grand blanc : comme ceux-ci sont beaucoup plus petits — le mégalodon était trois fois plus grand que le plus grand des requins blancs ! —, ils peuvent nager plus vite, évoluer dans des eaux moins profondes et satisfaire leurs besoins énergétiques en se nourrissant de proies plus petites* », analyse Jack Cooper. Aussi, « *il semble probable que le mégalodon n'a pas pu se maintenir face à la baisse des ressources et à la réduction de son habitat préférentiel* », conclut Guillaume Guinot. « *Quand les espèces disparaissent, c'est en raison de nombreux facteurs,* abonde Alan Pradel. *Celui du climat a de nombreuses répercussions sur quantité d'autres paramètres.* »

Alors comment raffiner davantage le scénario de la disparition du monstre ? Peut-être en dénichant, enfin, un fossile de mégalodon… qui soit autre chose que des dents (que les requins perdent et renouvellent continuellement au cours de leur vie). « *Il y a une règle en paléontologie : moins on en trouve, plus on peut raconter de choses* », s'amuse Alan Pradel. La découverte d'un fossile plus complet permettrait sans doute d'élaguer dans les théories. Pareille trouvaille n'est pas invraisemblable : après tout, le mégalodon possédait forcément de très gros muscles et un squelette spectaculairement développé pour actionner sa dantesque mâchoire, apte à mordre d'imposantes proies. Quelque part au fond d'un océan, tapi sous sa sépulture de sédiments, un squelette complet attend peut-être la fouille sous-marine qui pourra le réveiller. Et le faire parler. ■

Olivier Lascar @olascar

L'IA identifie des auteurs des manuscrits de la mer Morte

Des chercheurs ont développé un algorithme qui analyse les variations de la graphie. Ils ont ainsi établi que le Rouleau d'Isaïe a été écrit par deux scribes.

Depuis leur découverte par des Bédouins en 1947 dans le désert de Judée, dans la région de Jéricho (Cisjordanie), les manuscrits de la mer Morte, les plus vieux textes de la Bible hébraïque connus (Ancien Testament), continuent de fasciner et font toujours l'objet d'importantes études. En marge de leur décryptage, les archéologues, linguistes et historiens s'interrogent par exemple depuis longtemps sur leurs auteurs. Autant pour savoir qui étaient les scribes de la Bible hébraïque que la façon dont ils travaillaient : seuls ou à plusieurs ? Or l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) vient de contribuer à résoudre une de ces questions. En ayant recours à un algorithme informatique pour analyser les images numériques du Grand Rouleau d'Isaïe (IIe siècle avant J.-C.), un des trois premiers parchemins mis au jour dans la grotte 1 de Qumran, des scientifiques ont annoncé avoir pu détecter la présence de deux graphies différentes sur les 7 mètres de long du précieux original.

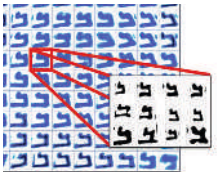
Un changement de copiste à la moitié du texte

Dans un article publié dans la revue *Plos One*, Mladen Popović, directeur de l'Institut Qumran à l'université de Groningue, aux Pays-Bas, et Lambert Schomaker, professeur d'informatique et d'intelligence artificielle à la Faculté des sciences et d'ingénierie de cette même université, ont expliqué avoir développé un algorithme permettant d'examiner les variations de forme et de style des lettres du Rouleau d'Isaïe. Cette analyse approfondie leur a permis de démontrer que les deux moitiés du texte avaient été copiées par deux mains différentes.

Pour parvenir à ces résultats et constater les subtiles modifications, ils ont en particulier étudié l'*aleph*, première lettre de l'alphabet hébreu, reproduit 5000 fois dans le document. Pour autoriser ces comparaisons qui auraient été impossibles à l'œil nu, ils ont tout d'abord créé un algorithme capable de séparer le texte (l'encre) de l'arrière-plan du document (le parchemin), pour mieux identifier le tracé de chaque caractère de façon à être en mesure de les comparer individuellement. Cette approche a fait apparaître que les 54 colonnes de texte qui composent le Rouleau d'Isaïe se répartissent en deux groupes distincts. Avec une transition à mi-chemin de la copie qui correspond au changement de scribe.

Ce projet ouvre ainsi une toute nouvelle voie d'exploration des textes de Qumran, en discernant mieux les humains derrière les œuvres. De quoi caractériser différents scribes parmi les rédacteurs des 900 manuscrits découverts dans les 11 grottes de Qumran. Les centaines de parchemins uniques mis à l'abri dans les falaises de Judée, sans doute pendant la Grande Révolte juive contre l'Empire romain en 68 de notre ère, vont ainsi continuer de livrer leurs secrets. ■

Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud



Chaque *aleph*, première lettre de l'alphabet hébreu, reproduit 5000 fois dans le manuscrit, a été analysé par intelligence artificielle. Celle-ci a permis de mettre en évidence des différences, invisibles à l'œil nu, dans le tracé de ce caractère.

ARDON BAR HAMA, MARJUFA. DHALI, UNIVERSITY OF GRONINGEN

Long de 7 mètres, le Rouleau d'Isaïe (IIe siècle avant J.-C.) est l'un des textes les plus anciens et les plus complets de la Bible hébraïque connus à ce jour.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

THOMAS ANDRILLON
NEUROSCIENTIFIQUE, INSTITUT DU CERVEAU ET DE LA MOELLE ÉPINIÈRE (PARIS)

« Le sommeil et les rêves sont une fenêtre sur la conscience »

Les songes ne dépendent pas totalement de l'activité cérébrale associée au sommeil paradoxal. Cette découverte est aujourd'hui exploitée pour tenter de mieux comprendre les conditions minimales de la conscience, ouvrant la voie à une nouvelle science des rêves.

Quel est le lien entre sommeil et conscience ?
Thomas Andrillon : Lorsqu'on s'endort d'un sommeil profond sans rêves, le cerveau ne s'éteint pas. Pourtant, la conscience s'évanouit. C'est l'un des mystères auquel les neuroscientifiques sont confrontés. Cela fait des décennies que les recherches essaient d'explorer ce lien entre activité cérébrale et états de conscience, le sommeil pouvant être vu comme une modulation naturelle de la conscience. Ainsi, on peut étudier le sujet éveillé conscient, le sujet endormi qui rêve, et donc également conscient, mais déconnecté de son environnement, et le sujet endormi non conscient. Le sommeil permet ainsi d'approfondir les frontières de la conscience.

Pour cela il a fallu déjà bien comprendre comment les états de sommeil et les rêves s'articulent…
Dans les années 1930, le premier type de sommeil découvert est le « sommeil à ondes lentes », caractérisé par un ralentissement et une amplification des rythmes cérébraux. Cette transformation de la dynamique cérébrale pourrait être liée à la perte de conscience consécutive à l'endormissement. Puis, dans les années 1950 et 1960, a été découverte une forme de sommeil atypique, popularisée notamment par le neurobiologiste français Michel Jouvet, qui lui a donné le nom de sommeil paradoxal. Un nom idoine, puisque le dormeur est à la fois profondément endormi, paralysé et sans tonus musculaire, mais avec une activité cérébrale rapide qui évoque l'éveil. De plus, une personne que l'on réveille lors d'une phase de sommeil paradoxal rapporte presque toujours des rêves, bien souvent riches et complexes.

D'où l'identification habituelle du sommeil paradoxal avec le sommeil conscient ?
Tout à fait. Les choses paraissaient claires. On avait deux phases de sommeil. Celle pendant laquelle l'activité cérébrale est complètement différente de l'éveil avait été associée au sommeil inconscient. L'autre, durant laquelle l'activité était assez proche de l'éveil et où se produisaient beaucoup de rêves, l'avait été au sommeil conscient. Toutes les pièces du puzzle s'alignaient parfaitement.

Les choses n'étaient en fait pas si simples ?
Non, cette vision du sommeil était par trop simpliste et durant le sommeil à ondes lentes, qui est supposé être un sommeil inconscient, il y a beaucoup de rêves. De façon très intéressante, le fait qu'il n'y avait pas identité entre sommeil paradoxal et rêves était en réalité connu depuis la découverte même du sommeil paradoxal en 1953. Mais parce que l'histoire fonctionnait et était comprise de tous, elle a longtemps prévalu.

Jusqu'à ce que ces recherches bénéficient d'un regain d'intérêt ?
En effet. Les améliorations des techniques d'enregistrement permettent de collecter davantage de données et de façon plus fine. Ainsi s'est développée la notion selon laquelle le sommeil est un phénomène plein de nuances et régulé localement à l'échelle du cerveau. Beaucoup de neuroscientifiques se sont mis à rechercher de nouveaux mécanismes qui permettraient d'expliquer pourquoi les gens sont conscients ou non durant leur sommeil. En particulier les travaux de l'équipe de Francesca Siclari, du Centre hospitalier universitaire vaudois à Lausanne (Suisse), ont permis de proposer à partir de 2017 une nouvelle signature neuronale du rêve. Une signature qui ne serait pas cette alternance sommeil paradoxal/sommeil à ondes lentes.

Quelle est cette nouvelle signature ?
Une diminution de la présence ▸

BIO EXPRESS

- **1988** Naissance à Schœlcher (Martinique).
- **2008** École normale supérieure de Paris.
- **2011** Master en sciences cognitives sous la direction de Giulio Tononi.
- **2016** Thèse de doctorat au Laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistiques sous la direction de Sid Kouider.
- **2018** Séjour postdoctoral en Australie (université de New South Wales, et université Monash).
- **2021** Chercheur à l'Insitut du cerveau à Paris.

LE TWITCH

À SUIVRE *Sciences et Avenir* organise une discussion en direct sur Twitch.tv avec Thomas Andrillon et Emma Chabani sur le thème « sommeil et rêves » qui aura lieu le jeudi 10 juin à 17 h 30. À suivre gratuitement et sans inscription sur **www.twitch.tv/sciencesetavenir** et à revoir sur **www.sciencesetavenir.fr**

des ondes lentes semble prédire la survenue des rêves, quel que soit le stade de sommeil. Ce n'est pas donc l'état global du cerveau qui déterminerait la conscience durant le sommeil, mais une activité plus locale. Autrement dit, le rêve ne résulterait pas d'un « embrasement » complet du cerveau, mais de l'activité de régions bien précises. Cette étude de la mécanique des rêves pourrait d'ailleurs renseigner sur les mécanismes de la conscience durant l'éveil en restreignant les régions connues pour être nécessaires à son apparition.

Ce qui est sujet à débat…
Oui, selon certaines théories de la conscience, le cortex préfrontal, la partie antérieure du lobe frontal du cerveau, jouerait un rôle majeur dans l'apparition de la conscience. Or cette nouvelle signature neuronale du rêve ne fait pas intervenir le cortex préfrontal, mais plutôt les aires corticales postérieures, à l'arrière du cerveau. Le cortex préfrontal serait ainsi surtout impliqué dans la manipulation des représentations conscientes que de leur émergence.

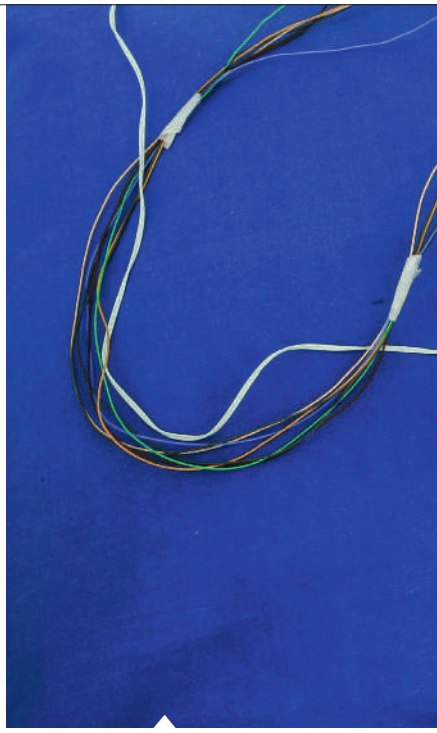
Pouvez-vous rappeler quelles sont les théories de la conscience et ce qu'elles impliquent ?
Aujourd'hui, les théories les plus influentes sont au nombre de quatre. On distingue la théorie de l'espace global de travail selon laquelle la conscience serait issue d'un partage des informations

BERNARD MARTINEZ

« Un dormeur peut communiquer dans son rêve avec un expérimentateur externe »

sensorielles à travers un réseau de régions cérébrales impliqué dans l'émergence de représentations conscientes ; les théories des pensées d'ordre supérieur, où l'on prendrait conscience d'un stimulus par l'existence de circuit d'ordre supérieur — une métareprésentation — qui pointe vers celui-ci ; celle de l'information intégrée qui définit la conscience comme une propriété de tout système, biologique ou non, capable d'intégrer une information différenciée ; enfin, la théorie du processus récurrent pour laquelle la conscience émergerait d'interactions récurrentes entre neurones d'un circuit qui traite un stimulus. Toutes ces hypothèses sur la conscience commencent à être testables scientifiquement de façon de plus en plus fine.

Quel est le lien entre conscience endormie et conscience durant l'éveil ?
C'est la grande question. On cherche à savoir si ces travaux sur la conscience endormie peuvent se généraliser à la conscience durant l'éveil. Peut-on reproduire les expériences réalisées chez les dormeurs chez les sujets éveillés ? Dans le laboratoire australien où je viens de passer trois ans, nous sommes en train de rassembler les données d'une vingtaine de laboratoires dans le monde pour les mettre en commun afin de pouvoir répondre à ces questions de manière la plus précise possible. À travers l'étude du sommeil et des songes, nous pouvons tester des



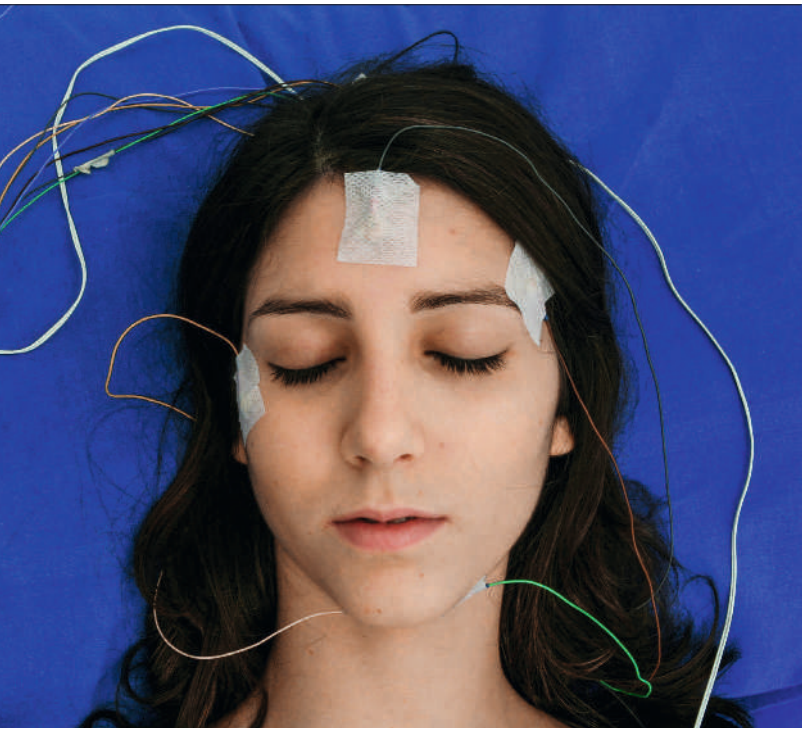
Grâce aux études menées sur les rêveurs lucides, le rêve est devenu un terrain d'expériences direct pour comprendre la conscience.

hypothèses sur les mécanismes de la conscience en général. Dans cette optique, l'étude des rêveurs lucides — des rêveurs conscients de leur activité onirique — est aujourd'hui en plein essor.

Ces rêveurs lucides sont-ils une opportunité pour la science des rêves ?
Sans conteste. Cela fait quelques décennies que l'on étudie en laboratoire ces rêveurs particuliers. Le rêve lucide se définit par la prise de conscience que l'on rêve pendant le rêve et éventuellement un contrôle sur le scénario du rêve. D'abord, il faut savoir que si la moitié de la population rapporte avoir déjà fait un rêve lucide, environ 1 % en fait fréquemment. C'est ce qu'on appelle des rêveurs experts. Ceux-ci peuvent indiquer qu'ils sont lucides à un observateur externe en faisant des mouvements oculaires qui ne sont pas inhibés pendant le sommeil — au contraire des mouvements des membres.

POUR EN SAVOIR PLUS

« Élucider l'esprit est un défi séduisant pour la réflexion de la recherche », écrivait le neuroscientifique Antonio Damasio en 1999. Plus de vingt ans après, les progrès en imagerie cérébrale sont tels que la mise en évidence de la signature neuronale de la conscience paraît proche.
C'est à cette exploration des arcanes du cerveau, que nous invite ce dossier du trimestriel *La Recherche**, avec des réflexions sur les théories de la conscience, que l'on peut commencer à confronter à l'expérience.
* La Recherche trimestriel n° 565, disponible en kiosque et en librairie.



LOOKATSCIENCES

Une très récente étude menée au service de pathologie du sommeil de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris, où je travaille désormais, est allée plus loin en démontrant la possibilité d'établir un dialogue en temps réel entre expérimentateurs et rêveurs. Mes collègues Delphine Oudiette, Emma Chabani et Isabelle Arnulf ont ainsi collaboré avec des laboratoires américains, néerlandais et allemands pour étudier des rêveurs lucides avec un même type d'expériences. Ils sont d'abord convenus avec un de ces experts d'un code corporel pour répondre aux questions : par exemple, sourire trois fois pour signifier « oui » ou froncer trois fois les sourcils pour dire « non ». Ils ont ensuite stimulé et interrogé les dormeurs pendant leur rêve, une fois que ceux-ci avaient indiqué être lucides : tapotements sur le dos de la main, interrogations fermées du type « parles-tu espagnol ? », des questions d'ordre mathématique. Le dormeur ne savait pas à l'avance quelles seraient les questions posées, mais il a pu y répondre correctement durant le sommeil.

Qu'est-ce que ce type de résultat apporte ?

Cette première démonstration d'un dialogue possible entre un expérimentateur externe et un dormeur dans son rêve a été reproduite par de multiples équipes à travers le monde avec plusieurs rêveurs lucides experts. C'est un résultat magnifique qui ouvre la voie à de multiples possibilités. Jusqu'ici l'étude du rêve n'était faite qu'*a posteriori*, à partir des récits qu'en faisaient les rêveurs. Mais là, le rêve devient un terrain d'expérimentation direct pour mieux comprendre la conscience. Une autre hypothèse soutient que le rêve nous rendrait plus créatifs — ce serait même une de ses fonctions — et c'est également quelque chose que l'on pourra tester. L'exploration du continent des songes devient possible avec des opportunités nouvelles. Il place aussi le dormeur comme explorateur et collaborateur des scientifiques étudiant le rêve. C'est à la fois très original et passionnant. ■

Propos recueillis par Philippe Pajot

@ philpaj

BRUNO LÉVY

Éthique

PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA *

Inoculations infectieuses humaines provoquées : le cas Covid-19

En 1901, une infirmière américaine, Clara Maass, s'expose délibérément à des piqûres d'insectes infectés par le virus de la fièvre jaune, en vue d'aider les scientifiques à comprendre les mécanismes de transmission de la maladie. Elle en décède quelques jours plus tard, suscitant l'émoi collectif. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les médecins nazis conduisent des expérimentations médicales barbares dans les camps de concentration en transmettant le paludisme et le typhus à des déportés et en testant ensuite, sur eux, des traitements variés, provoquant de nombreux morts. Depuis le procès de Nuremberg contre les principaux responsables du IIIe Reich (1945-1946), la déclaration d'Helsinki de 1964 sur la bioéthique et la convention d'Oviedo de 1997, les expérimentations médicales humaines sont strictement encadrées : les risques pris par les sujets doivent être quasi nuls et il faut recueillir leur consentement éclairé. Sous ces conditions, on poursuit toujours des expériences d'inoculations provoquées, afin de mettre au point des mesures de prévention et des traitements efficaces. En toute rigueur, et afin de parer au pire, on devrait toujours disposer d'une « thérapie parachute ». Cela n'a pas empêché des chercheurs britanniques d'infecter en 2020 une centaine de jeunes gens de 21 à 29 ans, ne présentant pas de comorbidités, avec le virus responsable du Covid-19, maladie potentiellement mortelle et sans traitement connu. Les sujets de cette expérimentation donnent leur consentement éclairé et sont rémunérés (environ 5000 euros) ; ils sont mis à l'isolement pendant une quinzaine de jours et suivi en continu. Cette expérimentation se justifie au nom du service rendu à la société et des très faibles probabilités de décès — moins de 0,03 % — dans cette tranche d'âge et sur cette population. Il n'en demeure pas moins qu'on expose là des individus sains à des maladies potentiellement mortelles. Et qu'on franchit donc une ligne rouge ! ■

> « Exposer des sujets sains à une maladie qui peut être mortelle, c'est franchir une ligne rouge »

* Président du comité d'éthique du CNRS, professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS). Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

La Recherche

« En France, l'omerta règne sur les fraudes alimentaires »

Nourriture contrefaite, contaminée..., Ingrid Kragl, directrice de l'information de l'ONG Foodwatch France, détaille les pratiques illégales et plaide pour la mise en place de moyens de contrôles et de répression contre ce trafic juteux.

ANTOINE PIECHAUD

Ingrid Kragl est directrice de l'information de Foodwatch France, organisation non gouvernementale (ONG) qui milite pour davantage de transparence dans le secteur alimentaire et pour le droit à une alimentation saine et respectueuse de l'environnement. www.foodwatch.fr

« Je surveille le sujet des fraudes alimentaires depuis environ six ans, en particulier dans le cadre de l'opération Opson, organisée chaque année sur une courte durée par Interpol et Europol, deux organisations internationales de lutte contre la criminalité, afin de braquer les projecteurs sur ces problématiques frauduleuses. J'ai pu ainsi observer que les saisies étaient de plus en plus importantes avec des pratiques de plus en plus inquiétantes pour la santé des consommateurs. Les fraudeurs en effet sont mus par le profit et ne s'embarrassent pas de nuire à la santé. Ainsi, l'opération Opson, en 2020, a conduit à la saisie de quelque 12 000 tonnes de faux aliments et 2000 tonnes de boissons alcoolisées contrefaites. 406 personnes ont été arrêtées et 19 groupes de crime organisé démantelés. Or, les pays européens ne font pas tous le nécessaire pour enrayer cette déferlante, notamment en France où l'omerta règne.

Il est ainsi extrêmement difficile à Foodwatch — et *a fortiori* au simple citoyen — d'avoir accès à l'information. Un exemple parmi tant d'autres : celui du grossiste allemand Wilke dont on a découvert en 2019 qu'il commercialisait de la viande contaminée à la *Listeria* dans 34 pays. Trois personnes en sont décédées en Allemagne. Quand nous avons été informés par le bureau berlinois de Foodwatch, les autorités françaises n'avaient encore rien communiqué officiellement contrairement aux autres pays. Sous la pression des médias, le ministère de l'Agriculture a fini par reconnaître que cette viande avait été consommée dans 11 départements, dans des restaurants, des traiteurs, des charcuteries et même... des maisons de retraite. Mais nous n'avons jamais eu accès aux détails. Même un député du Bas-Rhin, l'un des départements concernés, n'a pas obtenu gain de cause auprès des autorités ! L'excuse parfois avancée de protéger les emplois de l'agroalimentaire n'avait pas lieu d'être, l'entreprise en cause étant allemande.

Les exemples où les pratiques frauduleuses sont ainsi occultées sont multiples. Cette fraude massive va du petit commerçant qui mélange par exemple de la viande non conforme ou contaminée à de la viande saine, à la grande distribution qui, par la pression des prix bas, crée un contexte propice aux fraudes, jusqu'aux réseaux criminels organisés et l'agromafia qui investissent dans ces trafics et contrôlent des marchés parallèlement à celui de la drogue : les profits y sont colossaux et les risques quasi nuls. Tout le monde garde en mémoire le scandale dit de la viande de cheval dans les lasagnes, en 2013. Mais la fraude concerne tous les produits de consommation courante, y compris les denrées brutes comme les fruits et légumes ou des produits qui inspirent confiance comme les indications géographiques protégées (9 % de contrefaçons en Europe) ou le bio (un produit sur 12 est non conforme en France). Parmesan, mozzarella, huile d'olive, miel, tomates, riz, poisson, crustacés, viande, champagne, vins..., rien n'y échappe, pas même le mousseux sans alcool

EXTRAIT

« L'organisation Oceana a fait un test à Bruxelles, y compris dans le quartier fréquenté par les fonctionnaires européens. Avec une vérification de l'authenticité de 280 produits servis dans 150 restaurants, bars à sushis, comme au sein des cantines de la Commission européenne et du Parlement européen, ce avec la complicité d'eurodéputés. Le résultat des analyses ADN effectuées à l'université de Leuven est hallucinant : 1 produit sur 3 s'est avéré frauduleux ! Dans les commerces à sushis, la fraude était encore plus importante, atteignant 54,5 % [...]. Le thon rouge était presque toujours remplacé (95 %) par d'autres espèces de thons tropicaux, évidemment de moindre valeur. »

Manger du faux pour de vrai, les scandales de la fraude alimentaire, Robert Laffont, 400 p., 21 €

PATRICK ALLARD/REA

Le nombre de contrôles sanitaires dans la filière alimentaire a diminué d'un tiers entre 2012 et 2019. Ici un contrôle de provenance, de traçabilité et de qualité de carcasses de porc effectué par la DGCCRF dans une charcuterie, en 2011.

destiné aux enfants. Car le système permet que ces fraudes perdurent. Les consommateurs n'ont aucun moyen de se prémunir, même en pensant acheter « *made in France* » ou local.

Ce livre a pour but d'informer mais aussi de provoquer un électrochoc politique : il faut se doter de moyens de contrôles et de répression à la hauteur du phénomène, or la DGCCRF (Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes) a par exemple perdu 90 agents sur la période 2018-2019. Et le nombre des inspections sanitaires a diminué de 33 % entre 2012 et 2019, ce qui va affecter « *la capacité à réagir aux situations d'urgence* » comme s'en alarme la Commission européenne dans un rapport (2018). Des solutions existent, à commencer par la transparence : les citoyens ont le droit d'accéder à l'information. Nous avons lancé une pétition en ce sens sur foodwatch.fr. Ce manque alimente un climat d'impunité et nourrit la défiance. Il faut aussi obliger les fabricants à communiquer sur ces fraudes et renforcer la protection des lanceurs d'alerte. » ■ **Propos recueillis par Carole Chatelain**

> « Parmesan, huile d'olive, miel, tomates, poisson, viande, champagne, rien n'y échappe... »

@CaroleChatelain

SUR LE MÊME THÈME

Les systèmes alimentaires à l'épreuve du Covid-19

ADAPTATION À partir de 773 contributions émanant de consommateurs, d'agriculteurs, de bénévoles d'associations, etc., ce livre montre en quoi le confinement a affecté nos comportements en matière d'alimentation : comment il a provoqué des détresses alimentaires chez les personnes âgées ou fragiles, poussé les agriculteurs à se réinventer dans l'urgence, permis à certains de (re)découvrir les circuits courts... L'enquête met aussi en évidence les vulnérabilités de nos systèmes alimentaires, et fait des recommandations pour les résorber. ■ **V. G.**

Manger au temps du coronavirus, Yuna Chiffoleau, Catherine Darrot et Gilles Maréchal (dir.), éditions Apogée, 224 p., 15 €.

Éloge de la frugalité

ART DE VIVRE Depuis le début des années 2000, on constate, un peu partout dans le monde, une réconciliation entre agriculture et ville, un retour en force du « *produire mieux et manger mieux* ». Ce livre illustre ce renouveau. De la France à l'Argentine, en passant par les États-Unis, le Burkina Faso ou l'Inde, on remonte l'histoire des villes et de l'urbanisation en lien avec l'alimentation, on plonge aux côtés d'associations qui luttent pour une agriculture de proximité afin d'enrayer l'explosion de l'obésité, on s'interroge sur ce à quoi devrait ressembler l'agriculture urbaine, sur la notion de « locavore », etc. Un bel éloge de la frugalité. ■ **V. G.**

Villes voraces et villes frugales, Gilles Fumey et Thierry Paquot (dir.), CNRS éditions, 224 p., 18 €

La science passe à la casserole

ÉCORESPONSABILITÉ Mettre la science en cuisine, et la cuisine dans les labos : c'est l'expérience développée depuis dix ans par le chef Thierry Marx et le physicochimiste Raphaël Haumont, racontée dans une nouvelle version de leur livre, curieux et enrichissant. La science aide à innover à partir de la tradition, grâce à une meilleure connaissance de la nature des aliments. Comprendre l'énigme chimique du caramel, cuisiner en 3D par assemblage de cubes de gelée chaude, construire ensemble la casserole de demain qui pourra condenser les saveurs perdues... mais pourquoi ? Pour atteindre, à horizon 2050, une cuisine écoresponsable, respectueuse des ressources de la planète. ■ **A. De B.**

L'Innovation aux fourneaux en dix idées-clé, Thierry Marx et Raphaël Haumont, nouvelle édition, Dunod, 224 p., 7,90 €

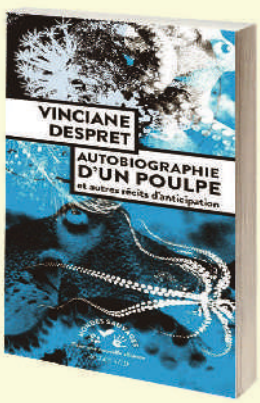
REINHARD DIRSCHERL/ BIOSPHOTO

Tout commence par un message écrit par un poulpe sur des tessons de poterie…

Être à l'écoute des animaux

Dans une fiction étourdissante nourrie de science, la philosophe Vinciane Despret nous invite à entendre ces choses passionnantes que les animaux nous racontent.

ANTICIPATION Imaginez un futur lointain mais pas trop, disons autour de 2091… Une association de chercheurs se penche sur les littératures animales : thérolinguistes et adeptes de cosmophonique interprètent le langage des bêtes sauvages. Ils sont secondés par des théroarchitectes, branchés sur la symbolique des constructions non humaines, et par des compostistes, curieuse communauté qui éduque les enfants à vivre en symbiose avec un animal. Et les voilà appelés à résoudre l'énigme d'un message écrit à l'encre par un poulpe sur des tessons de poterie. Oui, les animaux ont des choses stupéfiantes à nous raconter — prenez la « poésie initiatique chez la luciole », ou la « versification vibratoire chez la cigale muette » — mais pour les comprendre, il faut quitter le domaine du visible et de l'audible, plonger dans le royaume des vibrations, s'engager dans le terrain subversif du jeu, se décentrer et s'immerger dans le réseau des interdépendances. Les araignées, avec lesquelles des chercheurs essayaient de communiquer grâce à un diapason, déclenchent chez ces derniers des acouphènes : si elles « vibrhurlent » ainsi dans leurs oreilles, serait-ce parce que les humains ont rompu un pacte de silence, et les assaillent d'ondes envahissantes ? Les wombats fabriquent des murs avec leurs fèces cubiques, tous orientés de la même façon : marquage de territoire ? Simpliste ! Ce serait plutôt des cairns, expression de leur sens du sacré. Quant au poulpe, il nous avouerait que malgré sa croyance dans la réincarnation, le monde qu'on lui promet n'est plus assez accueillant pour lui. Vinciane Despret nous offre une œuvre de fiction étourdissante, qui accueille la réalité avec modération et beaucoup d'humour. Une narration polyphonique nourrie de science, puissamment philosophique, en l'honneur de la pulsion créatrice de chaque être vivant.

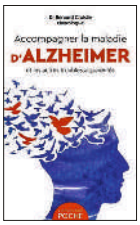


Andreina De Bei

Autobiographie d'un poulpe et autres récits d'anticipation, Vinciane Despret, Actes Sud, 160 p., 19 €

Faire face à Alzheimer

NEURO-DÉGÉNÉRESCENCE S'informer, comprendre les atteintes et conséquences des maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer mais surtout pouvoir faire face… Voici un petit ouvrage qui se propose d'aider et d'accompagner les malades atteints de démences et leurs proches. En France, on estime à près de 1,2 million le nombre de personnes atteintes de ces affections. Le Dr Bernard Croisile, neurologue au Centre mémoire des Hospices civils de Lyon, parvient en moins de 200 pages à faire le point sur les connaissances tout en proposant certaines attitudes à adopter face aux troubles du comportement souvent déstabilisants pour les aidants. Sans oublier les adresses de structures relais pour souffler. **S. R.-M.**



Accompagner la maladie d'Alzheimer et les autres troubles apparentés, Dr Bernard Croisile, Larousse Poche, 6,95 €

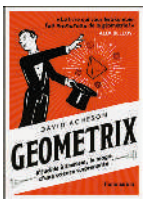
La chimie, une aventure scientifique

MOLÉCULES Ce livre est un riche creuset qui aborde de multiples sujets liés à la chimie ! Plus de 70 scientifiques du CNRS égrènent des découvertes dans des domaines aussi variés que le patrimoine, la santé, l'environnement, l'énergie, ou tout simplement la vie quotidienne. Comment une LED peut être alimentée en continu avec notre sueur ; comment sont élaborées des molécules utiles à la détection et au traitement de maladies. Au fil de la lecture, on voyage dans les nuages, les océans ; on chasse les molécules dans les confins de l'espace. Des portraits de chimistes comme Marie-Anne Paulze, épouse de Lavoisier, Irène Curie ou Angela Merkel rappellent que la chimie est aussi une aventure humaine. **M. G.**

Étonnante chimie, sous la direction de Claire-Marie Pradier, CNRS éditions, 328 p., 22 €

De la belle géométrie plane

ABSTRACTION Le plan n'est qu'une abstraction mathématique, pourtant en raisonnant sur les figures planes, triangles, cercles et autres, on peut mesurer le rayon de la Terre ou découper des pizzas de manière équitable. Partant de considérations sur les éléments d'Euclide jusqu'à des démonstrations où les triangles ont la part belle, David Acheson, un amoureux de la géométrie, parvient à transmettre la beauté de

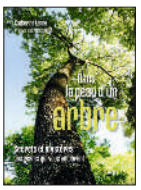


ce domaine des maths. Sans oublier quelques anecdotes drôles sur ces illuminés prétendant que pi a une valeur rationnelle ou avoir résolu la quadrature du cercle. Un ouvrage qui donne envie de se plonger dans ces démonstrations pas toujours élémentaires. **Ph. P.**

Géométrix, David Acheson, Flammarion, 288 p., 21 €

L'intimité des arbres révélée

FRONDAISONS Les arbres dorment-ils ? Quand et comment prennent-ils de l'embonpoint ? Peut-on dire qu'ils sont immortels,



sauf coup du sort ? Comment se développent les différents bourgeons, ces organes complexes ? Biologiste à l'université Clermont-Auvergne, Catherine Lenne perce ici avec verve les secrets de croissance, de reproduction, de sensibilité et d'adaptation des chênes millénaires, des hêtres majestueux ou des vertigineux séquoias. L'ouvrage est enrichi de photos qui plongent notamment au cœur des cellules ou de croquis explicatifs. Un émerveillement chaudement recommandé par le botaniste Francis Hallé. **R. M.**

Dans la peau d'un arbre. Secrets et mystères des géants qui vous entourent, Catherine Lenne, Belin, 442 p., 27 €

5G, la nouvelle guerre froide

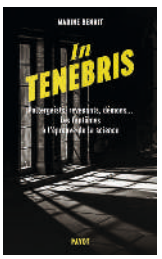
HÉGÉMONIE Malgré le bandeau de couverture le qualifiant de *« roman d'espionnage de la 5G »*, ce récit d'un journaliste des *Échos* retrace la montée en puissance de Huawei, géant chinois des équipements de télécommunications et leader de la 5G. Fondée en 1987, l'entreprise a pris une envergure mondiale grâce à ses choix stratégiques atypiques.

Mais n'a cessé depuis de se heurter aux États-Unis. Huawei et la 5G, c'est désormais un dossier brûlant où se mêlent technologie, géopolitique et intimidations. Les tensions sont telles que la Chine est en passe de bâtir et d'isoler son propre réseau. **A. D.**

La Guerre mondiale des ondes, Sébastien Dumoulin, Tallandier, 304 p., 19,90 €

Lumière sur l'obscur

PHÉNOMÈNES Le plus souvent, nous avons tendance à écarter ou à embrasser les phénomènes étranges, leur appréhension répondant essentiellement à la question *« vous y croyez, vous ? »* Pourtant oui, il est bien possible d'adopter une démarche journalistique et scientifique pour



les examiner. C'est ce que fait notre collaboratrice Marine Benoit dans cette passionnante compilation d'enquêtes qui ont vu le jour sous forme sonore et qui sont ici adaptées et enrichies. *« En plaçant toujours la logique et la raison au premier plan »*, entourée de spécialistes. Un ouvrage éclairant pour apprendre ce que dit réellement la science des poltergeists, des visions collectives, des maisons hantées et des esprits possédés. **M. N.**

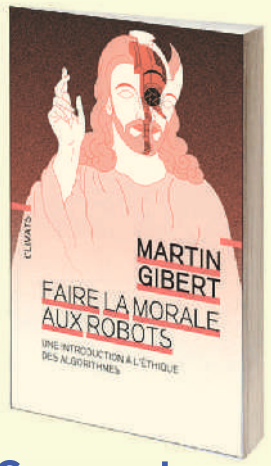
In Tenebris, Marine Benoit, Payot, 288 p., 18 €

D'autres vies sont possibles

NOUVEAUX MONDES Depuis 1995, plus de 4000 exoplanètes ont été découvertes autour d'autres étoiles que le Soleil. Et ce n'est qu'un début, de nombreux programmes d'observations nous promettent une avalanche de nouveaux astres… Parmi eux, combien sont habités ? Comment le savoir ? Fascinantes questions auxquelles Stéphane Mazevet, spécialiste de la modélisation des planètes et exoplanètes à l'observatoire de Paris, apporte des éléments de réponse. Pour cela, cet ouvrage érudit offre un panorama sur plus de vingt siècles de nos connaissances concernant la planétologie, depuis les Grecs jusqu'aux dernières découvertes sur la formation de notre système solaire et l'existence d'autres systèmes planétaires variés. L'auteur évoque ensuite les recherches en laboratoire sur la chimie prébiotique, à la recherche de l'apparition du vivant. Et pour cause : si nous connaissons la « recette » de la vie sur Terre, nous pourrons en chercher les ingrédients dans les atmosphères de ces nouveaux mondes observés par les astronomes. Une quête passionnante que ce livre nous permet de saisir dans tous ces aspects.

Fabrice Nicot

Les Exoplanètes et la vie dans l'Univers, de Stéphane Mazevet, Odile Jacob. 296 p. 23,90 €



Comment faire un robot vertueux

ÉTHIQUE Programmer les intelligences artificielles (IA) de manière morale : l'auteur de ce livre, spécialiste de l'éthique des IA, reconnaît lui-même que l'entreprise est « pharaonique ».
Pas question, donc, de trouver dans son ouvrage une solution toute prête. À la place, une exploration, concise et pourtant riche en enseignement philosophique, de trois orientations possibles : une IA « déontologiste », une IA « utilitariste » et une IA « vertueuse ». Chacune réagit en effet de manière différente face à un dilemme moral : si elle se trouve dans l'obligation de choisir entre écraser un vieillard ou renverser un enfant par exemple, la première laissera faire le hasard, la deuxième optera pour la solution qui engendrera le moins de souffrance, la troisième se conduira comme le ferait une personne vertueuse. Clairement, ce dernier type d'IA emporte les faveurs de l'auteur : il s'agit, face aux défis que ne manqueront pas de poser les futurs robots, du « meilleur compromis ». À quand la mise en pratique ? **Vincent Glavieux**

Faire la morale aux robots, Martin Gibert, Flammarion, 168 p., 17 €

EXPOSITIONS

La date d'ouverture de ces événements dépendra de la levée des restrictions sanitaires.

Fleury-devant-Douaumont (55)

« On ne passe pas ! », les fortifications, du système Séré de Rivières à la ligne Maginot
Cette exposition ambitionne de revenir sur l'idée reçue, entérinée par la défaite de 1940, selon laquelle la ligne Maginot était un non-sens. Or, elle est l'aboutissement de projets de fortifications remontant à 1872 sous l'impulsion d'Adolphe Thiers. En attendant son ouverture, conférences et séances de ciné-débat sont accessibles sur sciav.fr/892Memorial
Mémorial de Verdun, 1, avenue du Corps-Européen, jusqu'au 26 septembre. Rens. : 03.29.88.19.16.

Le Havre (76)

Australie-Le Havre, l'intimité d'un lien (1801-2021)

Le 19 octobre 1800, une expédition scientifique part du Havre pour les « terres australes ». C'est le point de départ de cette exposition qui raconte comment le port français est devenu la tête de pont d'échanges culturels avec l'Australie et l'Océanie. Dessins et manuscrits de l'époque côtoient données scientifiques d'hier et d'aujourd'hui sur la culture aborigène ou la biodiversité.
Muséum d'Histoire naturelle du Havre, place du Vieux-Marché, jusqu'au 7 novembre.
Rens. : 02.35.41.37.28.

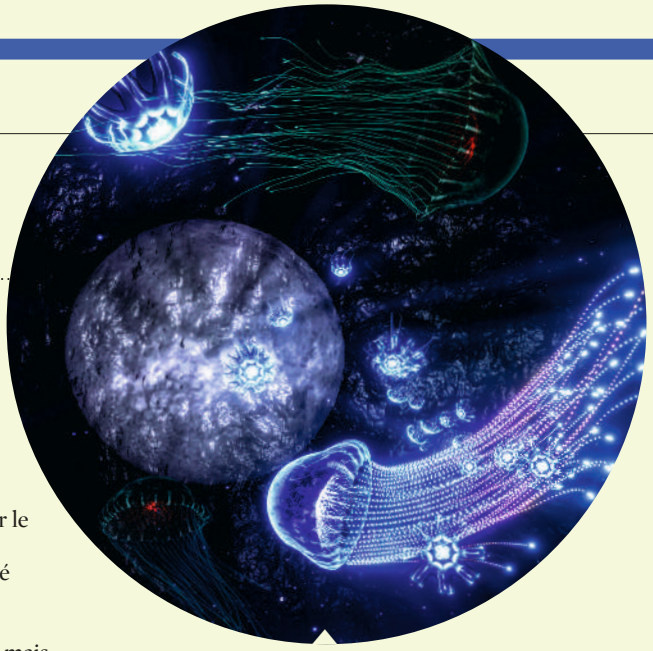
Meaux (77)

Graver la guerre
Georges Bruyer (1883-1962) était peintre, graveur et illustrateur. Blessé à la guerre en 1915, il devient artiste missionné aux armées. Plus de 400 dessins, aquarelles et gravures témoignent du quotidien des combattants et du front.
Musée de la Grande Guerre, rue Lazare-Ponticelli, jusqu'au 22 août. Rens. : 01.60.32.14.18

Paris (75)/Festival

Les Ailleurs

Visiter « Les Ailleurs » est une ébouriffante balade de découverte, d'évasion, d'expérimentation… juste en calant bien sur ses yeux un casque de réalité virtuelle. Le festival immersif créé par le magazine de photo contemporaine *Fisheye*, en collaboration avec La Gaîté lyrique à Paris et les Rencontres photographiques d'Arles, propose performances, concerts, conférences, mais surtout trois parcours de voyages scandés par les œuvres interactives de dix artistes. Invitations à créer un lien avec d'impressionnantes créatures à l'allure d'origamis (*Paper Beast*, d'Éric Chahi) ou à marcher sur la Lune (*To the Moon*, de Laurie Anderson et Hsin-Chien Huang), dans la contemplation d'une pluie d'étoiles. Un coup de cœur ? *The Jellyfish* (de Mélodie Mousset et Edo Fouilloux) : dans les profondeurs marines, des méduses bariolées fluctuent délicatement, et au moindre son sorti de votre bouche, à chaque variation de fréquence ou d'intensité, elles changent de forme, de couleur, virevoltent autour de vous… Une merveilleuse expérience symbiotique. ■ **Andreina De Bei**



MÉLODIE MOUSSET ET EDO FOUILLOUX/FESTIVAL LES AILLEURS

Dans « The Jellyfish », les artistes ont créé un océan virtuel d'interactions sonores entre le participant et des méduses.

La Gaîté lyrique, 3 bis, rue Papin, jusqu'au 11 juillet. Rens. : 01.53.01.52.00.

Paris (75)

Napoléon
Parmi les nombreux événements organisés à l'occasion du bicentenaire de la mort de Napoléon, cette exposition voit grand. En neuf étapes, elle couvre le parcours d'un homme, objet d'admiration comme de controverse, de sa formation à son exil sur l'île de Sainte-Hélène. Legs politique, culturel et militaire sont au programme (*lire* S. et A. *n° 891*).
Grande Halle de la Villette, 211, avenue Jean-Jaurès, jusqu'au 19 septembre. Rens. : 01.40.03.75.75.

Rire : la science aux éclats !
Le musée de l'Homme explique le rire aux enfants à partir de 6 ans à travers des ateliers interactifs et ludiques, dont un « duel de rires ». Il y est question des types de rire, du rire chez les animaux, des chatouilles ou de la moquerie. Des contenus annexes sont disponibles sur sciav.fr/892Rires.
Musée de l'Homme, 17, place du Trocadéro, jusqu'au 3 août. Rens. : 01.44.05.72.72.

SUR LE NET

Bayeux (14)

La tapisserie de Bayeux en ligne
Promise à une restauration à partir de 2024, la tapisserie relatant la conquête de l'Angleterre au XIe siècle a fait l'objet en février d'un projet de numérisation impliquant l'université de Caen et le CNRS. Les 68 mètres de l'œuvre ont été photographiés en totalité pour être explorés en ligne.
sciav.fr/892Bayeux

Hauterives (26)

Palais idéal du facteur Cheval
Pendant 33 ans, le facteur Ferdinand Cheval a bâti seul cette construction folle de 12 mètres de haut sans référence architecturale précise. De cette œuvre classée au titre des Monuments historiques en 1969 est née l'idée d'architecture naïve dont il n'existe que de rares autres exemples. Elle bénéficie d'une exposition en ligne, avec photos actuelles et d'époque, documents numérisés, citations.
sciav.fr/892PalaisCheval

Nantes (44)

Nantes et la traite atlantique
Le musée d'Histoire de Nantes a numérisé et mis en ligne ses collections. Toute la thématique du commerce des esclaves, qui fit de la ville le premier port négrier de France, s'y trouve. Sont essentiellement disponibles des peintures, des cartes et des dessins mais aussi une vue à 360° d'une salle d'exposition.
sciav.fr/892Traite

Toulouse (31)

Wisigoths, rois de Toulouse
Pour cause de pandémie, cette exposition qui devait durer de février à septembre 2020 se déporte en ligne. Tout est accessible au travers d'une interface interactive. Le visiteur déambule dans ce parcours traitant de l'implantation des Wisigoths dans le sud-ouest de la Gaule à partir de 413.
sciav.fr/892Wisigoths

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

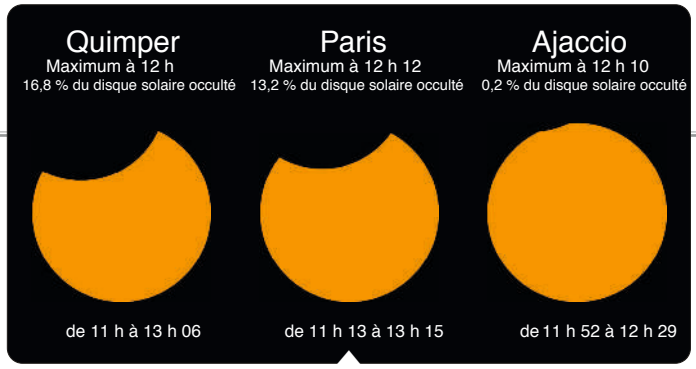
MERCURE
La petite planète passe en conjonction inférieure le 11. Bien qu'elle s'éloigne ensuite de la direction du Soleil et s'en trouve à plus de 20° en fin de mois, elle n'est pas visible sous nos latitudes, trop basse vers le levant.

VÉNUS
L'étoile du Berger est observable en début de soirée, bas vers le couchant, sous la forme d'un point très brillant. Elle passe sous l'horizon environ 1h30 après le Soleil tout ce mois.

MARS
La planète Rouge est visible en soirée et se couche de plus en plus tôt. À peine plus brillante que l'étoile Polaire, elle quitte la constellation des Gémeaux pour celle du Cancer le 8. Nous la retrouverons une dernière fois pour un rapprochement avec Vénus le 13 juillet.

JUPITER
La planète la plus massive du système solaire, très lumineuse, se lève en seconde partie de nuit et domine le ciel du petit matin. Aux premières lueurs de l'aube, on la trouve vers le sud-est à une vingtaine de degrés de hauteur en début de mois et vers le sud, 10° plus haut, en fin de mois. Jupiter occupe actuellement le Verseau.

SATURNE
La planète aux anneaux se lève un peu moins d'une heure avant Jupiter. Moyennement brillante, elle est néanmoins facilement observable en fin de nuit à une vingtaine de degrés à l'ouest de Jupiter. Saturne passe le mois dans le Capricorne.



Aspect du Soleil à l'instant du maximum de l'éclipse à Quimper, Paris et Ajaccio. Les habitants du nord-ouest de la France auront une meilleure vue de cette éclipse partielle que ceux du sud-est.

Le Soleil a rendez-vous avec la Lune

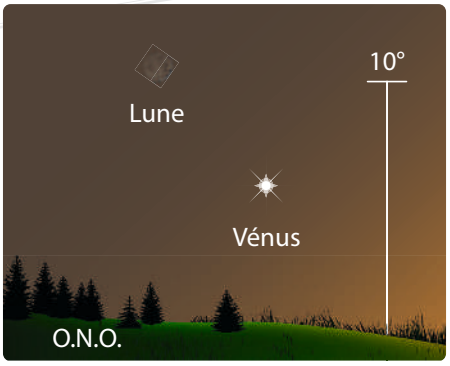
JEUDI 10, UNE ÉCLIPSE PARTIELLE DE SOLEIL sera visible partout en métropole. Son maximum prendra place entre 11h55min et 12h20min selon votre localisation, alors que l'astre du jour sera déjà bien haut dans le ciel. Les habitants du nord-ouest de la France seront un peu mieux lotis que ceux du sud-est.

Notre conseil Il sera impératif d'utiliser un filtre spécial pour observer l'éclipse. Son rôle est de réduire l'intensité lumineuse et de bloquer une partie des rayonnements émis par le Soleil, très nocifs pour l'œil. Les lunettes cartonnées vendues à l'occasion d'éclipses, certifiées « CE » et non usagées, constituent une bonne protection.

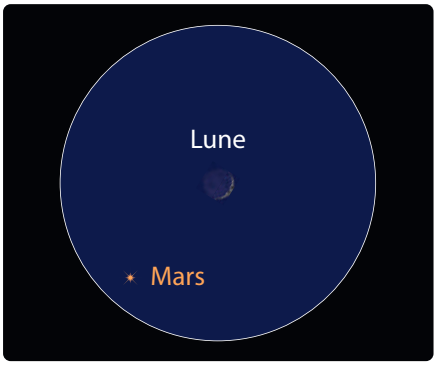
Retrouvez la carte du ciel sur sciav.fr/carteduciel

L'appli du mois

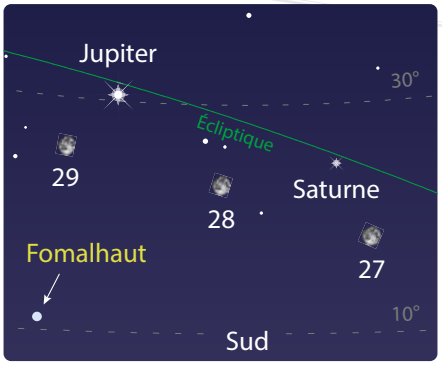
ARMILLARY SPHERE est une application gratuite en anglais disponible sur Google Play et l'App Store. Elle recrée en 3D une sphère armillaire, instrument grâce auquel vous pouvez déterminer, pour n'importe quelle latitude, l'heure et la position de lever et de coucher du Soleil, la longueur du jour et la hauteur du Soleil à différents moments de l'année.



LE SOIR DU 12, 45 MINUTES APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, observez le délicat premier croissant de Lune nimbé de sa lumière cendrée non loin de la brillante planète Vénus.



LE SOIR DU 13, 1 H APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, le croissant de Lune et la planète Mars se trouveront à 2° l'un de l'autre. Une belle observation à l'œil nu ou aux jumelles !



LES MATINS DU 27 AU 29, 1 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, une Lune en phase gibbeuse décroissante passera au sud de Saturne et Jupiter. Le 28, elle se trouvera entre les deux planètes.

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

ASTRONOMIE

Pourquoi les aurores polaires sont-elles de différentes couleurs ?

Kenza S.

Les aurores polaires, appelées boréales dans l'hémisphère Nord et australes dans l'hémisphère Sud, résultent de l'interaction entre des particules chargées (protons, électrons et ions) éjectées par le Soleil et l'atmosphère terrestre. *« Ces particules s'engouffrent dans les lignes du champ magnétique de la Terre et entrent en collision avec des atomes de la haute atmosphère, entre 80 et 1000 kilomètres d'altitude »*, explique l'Agence spatiale européenne. Selon les atomes de l'atmosphère qui sont percutés, les aurores peuvent arborer différents coloris : l'azote donne des couleurs bleues et rouges, voire violettes, tandis que la palette de l'oxygène a des teintes vertes et rouges. Quant à l'hydrogène et l'hélium, ils donnent dans le bleu et le mauve. ■ **Joël Ignasse** @IgnasseJ

GÉOSCIENCES

Que trouve-t-on sous la glace de l'Antarctique ?

Florence T.

Les données du satellite Goce de l'Agence spatiale européenne ont permis en 2019 de reconstituer la structure de la croûte terrestre et de la couche supérieure du manteau sous l'Antarctique. Il apparaît ainsi que, sous une couche de glace de 4 kilomètres en moyenne, ce continent est bien plus épais dans sa partie est que dans sa partie ouest : à l'est, l'épaisseur de la lithosphère (la couche rigide qui comprend la croûte terrestre et le manteau supérieur) est estimée à plus de 260 kilomètres, tandis qu'à l'ouest, la lithosphère est amincie à moins de 100 kilomètres.
Ce déséquilibre est lié à de grandes variations de température dans la lithosphère. ■ **Lise Loumé**
@lysLoume

ARIEBOTBOL/HANSLUCAS/HANSLUCAS VIA AFP

L'activité physique ne suffit pas pour perdre du poids. Une alimentation adaptée et un sommeil de qualité sont indispensables.

PHYSIOLOGIE

Le sport fait-il maigrir ?

Stéphane D.

« *En général, le sport ne permet pas à lui seul de faire varier le poids — la masse, pour être plus exact — sur la balance*, explique Michel Guinot, docteur en physiologie de l'activité physique au CHU de Grenoble-Alpes. *Certes la dépense énergétique s'intensifie mais l'appétit augmente également, et donc la consommation d'aliments, ce qui aboutit à un bilan énergique neutre : les apports énergiques sont équivalents aux dépenses énergétiques.* » Toutefois, même si à la suite d'un exercice physique régulier, la masse reste inchangée, sa répartition dans le corps peut se modifier et conduire à un changement de silhouette. En effet, lors de la pratique d'un sport, l'organisme consomme en priorité des sucres, puis, si l'activité physique dure plus de 30 minutes, des acides gras, ce qui entraîne une diminution de la masse grasse (située surtout autour des viscères abdominaux et sous la peau) et une augmentation de la masse « maigre » (constituée en grande partie de muscles). Une activité physique régulière et supérieure à 30 minutes à chaque séance peut donc entraîner une perte de tour de taille. Mais pour vraiment perdre du poids et ne pas simplement observer une modification de la silhouette, le sport ne suffit pas. *« Une alimentation adaptée est également nécessaire. Le sommeil est aussi un allié important : s'il est de mauvaise qualité, cela modifie le métabolisme en faisant prendre du poids, car le corps brûle moins de calories »*, précise Michel Guinot. ■ **Colombe Henrion**

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 891, mai 2021

Lyndon B Johnson

Une solution multiplie le prénom par 6 pour atteindre le nom.

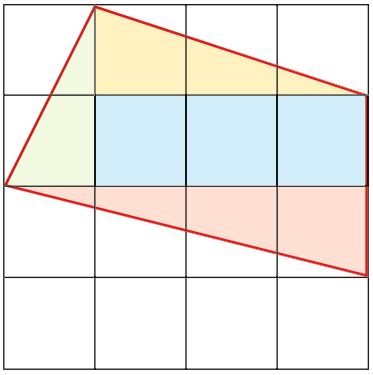
	L	Y	N	D	O	N
	5	7	0	1	4	0
x						B
						6
J	O	H	N	S	O	N
3	4	2	0	8	4	0

L'héritage de Timothée

Cherchons à saisir les intentions du testateur : en disant que la fille aurait les 2/3 de l'héritage et le père 1/3, il a voulu que la fille ait le double du père; et en disant que le fils aurait 1/3 et le père 2/3, il a voulu que le père ait le double du fils.
Représentons la part du fils par 1, celle du père vaudra 2 et celle de la fille vaudra 4. Il faut donc partager le 84 000 € proportionnellement aux nombres 1, 2 et 4, dont le total est 7. Le fils aura donc 1/7 de l'héritage.
Le fils 84 000/7 = 12 000 €, le père 12 000 x 2 = 24 000 €, la fille 24 000 x 2 = 48 000 €. 12 000 + 24 000 + 48 000 = 84 000 €.

Une aire et son carré

Le calcul peut se faire très simplement en remarquant que les traits rouges coupent des rectangles par leur diagonale.
En haut 3 carrés, à gauche 2 et en bas 4. Soit 9/2 donc 4,5 cm² auxquels on ajoute les 3 carrés du centre; cela fait 7,5 cm²

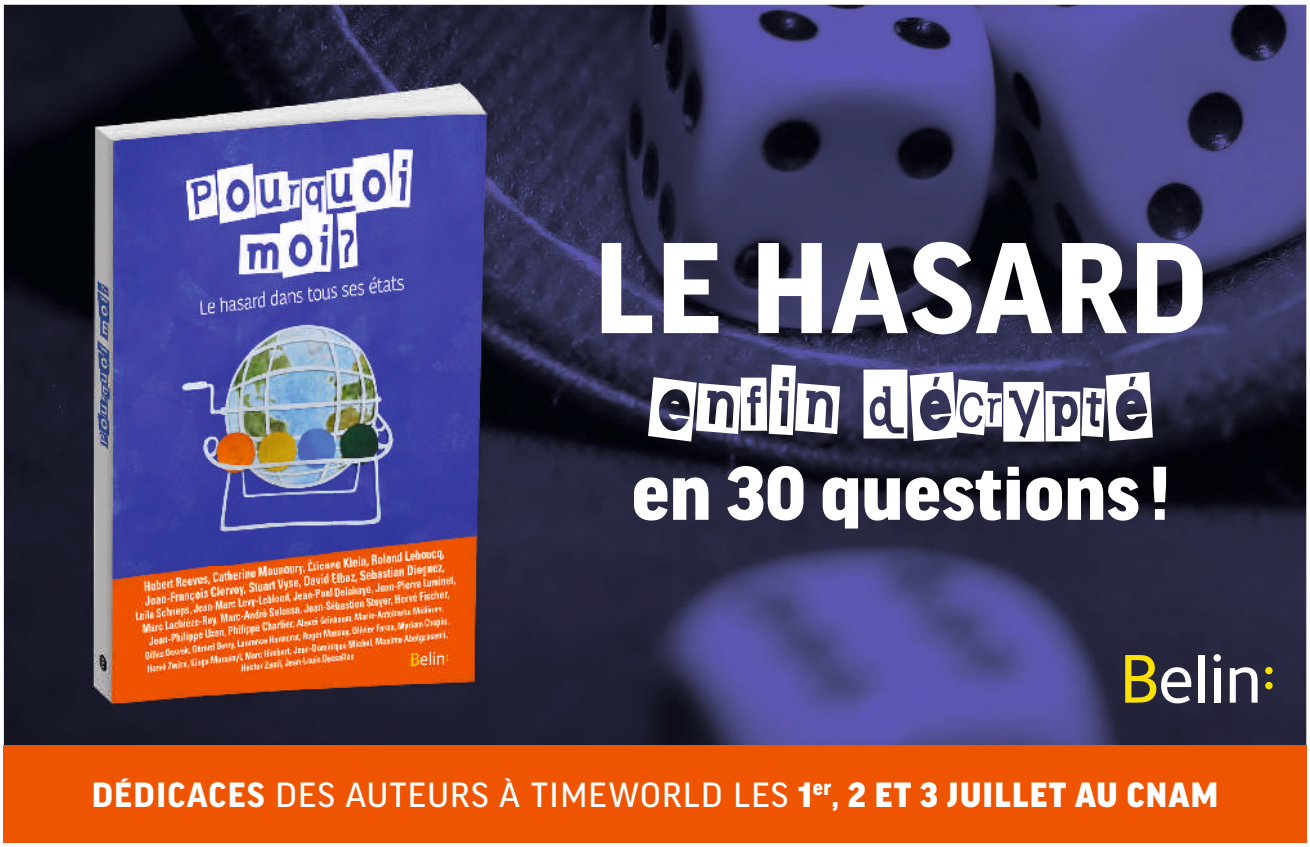


Logique de lettres

Le p de pour. Les lettres rouges sont les consonnes suivies de plusieurs voyelles.

Le tableau inconnu

Il y a bien un étang (Charles),
Il y a bien un chien (Denis).
La jeune femme a une robe bleue (Benoît).
Enfin la bicyclette est marron (Alain).



PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

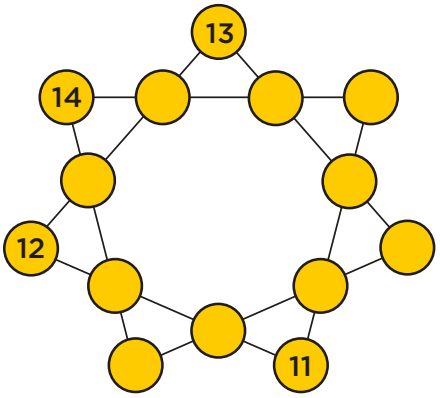
Citation cavalière

Les 25 lettres de cette phrase de Georges Bernanos sont écrites dans les cases suivant un parcours de cavalier d'échecs, où chaque saut est une diagonale 2 x 3.
En allant du triangle noir jusqu'au blanc, que dit-elle ?

S	E	E	E	L
R	U	E	A	I
U	P	R	U	C
N	A	I	S	C
R	Q	O	N	R

Étoile magique

Placez dans les cercles jaunes les nombres de 1 à 10 de façon à ce que la somme de chaque ligne de 4 cercles fasse 30.
Trouverez-vous deux solutions ?

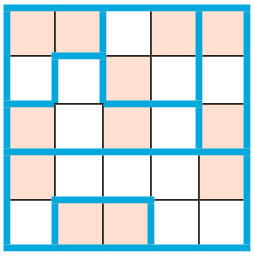


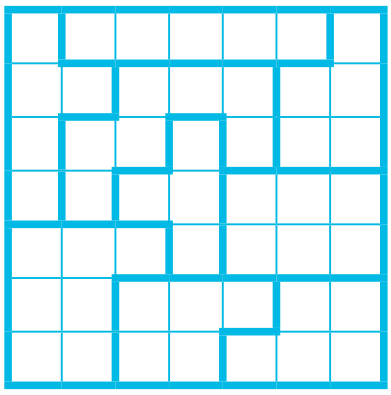
Rock logique

Antoine, Basile, Charles et Didier ont monté un groupe de rock. Ils jouent (pas forcément dans cet ordre) : de la guitare, du synthétiseur, du saxo et de la basse.
À la veille du déconfinement, ils comparent les contrats qu'ils ont signés pour aller jouer dans différents festivals et différentes stations balnéaires.
Le bassiste a plus de contrats que les autres et c'est le guitariste qui en a le moins. Basile a plus de contrats qu'Antoine. Didier observe, non sans un certain regret, que s'il jouait du saxo, il aurait signé plus de contrats que Charles, ce qui n'est en réalité pas le cas.
À quel prénom se rapporte chaque instrument ?

Noronorer ?

Saurez-vous compléter ce noronori 7 x 7 ? Comme sur l'exemple de gauche, cela consiste à poser des dominos constitués de deux cases colorées de telle sorte que :
– chaque zone, délimitée par des traits bleus épais, a exactement deux cases colorées ;
– un domino est éventuellement à cheval sur deux zones ;
– les dominos se touchent au plus par un angle mais jamais horizontalement ou verticalement.





Logique numérique

Complétez une solution numérique en toutes lettres pour que la phrase du rectangle soit irréprochablement vraie.
Trouverez-vous deux solutions ?

DANS CE RECTANGLE
DEUX LETTRES
SONT UTILISÉES
EXACTEMENT
..... FOIS.

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

Challenges

Toulouse School of Economics

COMMON GOOD SUMMIT
27-28 mai 2021
100% DIGITAL

Le Sommet "Sauver le Bien commun"

Introduction : Emmanuel Macron

Cinq Prix Nobel pour le Bien Commun

Photos : Bryce Vickmark - Xose Bouzas AFP - DR

INSCRIPTION **GRATUITE** SUR
CommonGoodSummit.com

01 Inégalités

Inégalités et croissance	Stefanie Stantcheva Harvard Philippe Aghion Collège de France Bernard Gainnier PwC France et Maghreb
Good and bad jobs	Daron Acemoglu MIT Adrien Couret Aéma Groupe
Inégalité, avant et après le COVID	Amartya Sen, Angus Deaton Prix Nobel 1998 et 2015

02 Climat

Transition énergétique, le vrai coût	Christian Gollier TSE
Le défi de la transition énergétique dans la mobilité	Thierry Mallet Transdev Boris Winkelmann Geopost / DPDgroup

03 Santé

La Santé du futur et le financement desinnovations	Alexandre Mérieux Biomérieux Eric Ducournau Pierre Fabre Marisol Touraine Unitaid

04 Digital

Régulation des plateformes	Luc Julia Renault Jacques Cremer TSE

05 Finance

Quelle rentabilité du capital pour le bien commun ?	Jean-Laurent Bonnafé BNP Paribas Saam Golshani White & Case Philipp Hildebrand Blackrock
La dette et le bien commun	Olivier Blanchard Peterson Institute Hélène Rey LSE Jean Tirole TSE

Partenaires officiels : aéma GROUPE · AESIO MUTUELLE · HACF · LA POSTE · LVMH · Pierre Fabre · pwc · La Région Occitanie · transdev the mobility company

Partenaire : BNP PARIBAS

Partenaires médias : SCIENCES AVENIR · La Recherche · LCI

Partenaire associé : LA DÉPÊCHE

Organisé par : Les Echos Le Parisien ÉVÉNEMENTS

BETC ORANGINA SCHWEPPES FRANCE SAS – RCS Nanterre B 404 907 941 – CAPITAL SOCIAL 446 036 924 €

POUR VOTRE SANTÉ, ÉVITEZ DE GRIGNOTER ENTRE LES REPAS – WWW.MANGERBOUGER.FR